



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

KARI KIRJAVAINEN
RFID-TEKNOLOGIAN KEHITYS, SENSORIT JA HYÖDYNTÄMI-
NEN OLOSUHDEMITTAUKSISSA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Hannu Jaakkola
Tarkastaja ja aihe hyväksytty

Talouden ja rakentamisen tiedekunta-
neuvoston kokouksessa 4. maaliskuuta
2015

TIIVISTELMÄ

KARI KIRJAVAINEN: RFID-teknologian kehitys, sensorit ja hyödyntäminen
olosuhdemittauksissa
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 55 sivua
Toukokuu 2015
Tietotekniikan koulutusohjelma
Pääaine: Ohjelmistotekniikka
Tarkastaja: professori Hannu Jaakkola

Avainsanat: RFID, sensori, langaton sensorijärjestelmä, olosuhdemittaus

RFID eli radiotaajuinen etätunnistusmenetelmä on langaton kommunikointimenetelmä, jota käytetään tuotteiden ja asioiden havainnointiin, tunnistamiseen ja yksilöintiin tai ympäristön olosuhdetilojen mittaamiseen sensoreiden avulla. RFID ja sensorit ovat jo pitkään olleet tunnettua teknologiaa, joka on nopeasti yleistymässä. RFID- ja sensoritekniikkaa on nykyisin alettu hyödyntämään kaupallisesti eri sovelluskohteissa.

Diplomityön tarkoituksena oli perehtyä RFID:n historiaan, teknologiaan, sensoreihin ja niiden järjestelmiin sekä liikkuvaan olosuhdemittaukseen. RFID ja langattomien sensoriverkkojen tulevaisuudennäkymiä pyrittiin arvioimaan maailmanlaajuisesti.

Työssä käsitellään RFID-teknikkaan liittyen myös sensorijärjestelmiä ja niiden tekniikkaa. Varsinkin langattomaan sensoriverkkoteknologiaan perustuvien sovellusten odotetaan lähitulevaisuudessa voimakkaasti kasvavan. Langattomat sensorijärjestelmät ovat verrattain uusi tieteenala. Käyttöalueita löytyy lukemattomia teollisuudesta ja ympäristön monitoroinnista kotitalouksia hyödyttäviin sovelluksiin. Työssä tarkastellaan RFID-perusteisten olosuhdemittauspilotin ja järjestelmän perusominaisuuksia ja arvioidaan niiden toimintaa sekä tutkitaan niiden hyötynäkökohtia nykyisissä sovellutuksissa.

ABSTRACT

KARI KIRJAVAINEN: The Development in RFID-technology, The Sensors and The Utilization in Environmental Measurements

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 55 pages

May 2015

Master's Degree Programme in Information Technology

Major: Software Engineering

Examiner: Professor Hannu Jaakkola

Keywords: RFID, sensor, wireless sensor system, environmental condition

Radio-frequency identification (RFID) is a wireless communication method that is commonly used for observation and identification. The sensor systems use this method for measuring the environmental conditions such as temperature and humidity. RFID and sensors have a long history for being well-known technology and is quickly becoming more standardized. The technology today is becoming more available and commercially used by various application businesses.

The purpose of this thesis was to examine RFID-technology from general aspects. The thesis starts with the historical aspect of RFID-technology and its revolution. The main focus in the thesis is in physical environmental measurements and studying how wireless sensor systems can utilize them. Also the possible future prospect is being studied.

The thesis studies RFID-technology also in relation to the sensor systems. Wireless sensor network-based applications are expected to grow strongly in the near future. Sensors and RFID-technology are well-known but the wireless sensor systems are relatively new field of science. The sensor systems can be utilized in many different areas for monitoring and measuring purposes. This study examines one pilot project that is featuring the implementation of sensor system for measuring the environmental conditions. The study explores aspects that are beneficial for the current and future application development.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Porin yksikössä/ laitoksella syksyn 2014 ja kevään 2015 aikana. Haluan kiittää työni toimeksiantajaa, joka on antanut mahdollisuuden diplomityöni toteuttamiseen. Kiitokset esitän myös diplomityöni ohjaajalle ja tarkastajalle Hannu Jaakkolalle rakentavista seikoista ja korjausehdotuksista läpi työn. Haluan myös kiittää ystäviäni ja perhettäni opintojeni aikana saadusta kannustuksesta ja tuesta.

Porissa, 15.4.2015

Kari Kirjavainen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	RFID-HISTORIA.....	3
2.1	Alkuajoista 1990-luvulle.....	3
2.2	Nykyisyys 2000-2010 luvuilla	6
3.	RFID-TEKNOLOGIAKATSAUS.....	10
3.1	Tunnisteet.....	12
3.1.1	Aktiivinen tunnistus.....	12
3.1.2	Passiivinen tunnistus.....	13
3.1.3	Puolipassiivinen tunnistus.....	13
3.2	Lukija	13
3.3	Taustajärjestelmä ja ohjelmistot.....	14
3.4	Taajuusalueet.....	14
3.5	Muistit.....	16
3.6	Tehonsyöttö ja fyysinen toiminta.....	17
3.7	Yhdistämistavat radiorajapinnassa	20
3.8	Standardointi	20
3.9	NFC:n käyttö älypuhelimissa.....	21
4.	SENSORIT JA SENSORIJÄRJESTELMÄT.....	23
4.1	Sensorit ja rakenne.....	23
4.2	Sensoriverkot ja järjestelmät	25
4.3	Kiinteistöautomaatio, tiedonsiirto ja välit	27
4.4	Yhteydet ja kommunikointi.....	31
4.5	Yleiset käyttökohteet	32
4.5.1	Teollinen ja kaupallinen sektori.....	33
4.5.2	Kodin automaatio ja elektroniikka.....	33
4.5.3	Kulkuvälineiden automaatio.....	34
4.5.4	Maatalousala.....	34
4.5.5	Logistiikka, kuljetukset ja tuotanto.....	34
4.5.6	Terveystoiminta	35
4.5.7	Pelastustoiminta	35
4.5.8	Sotilaskäyttö ja muita sovellusalueita	35
5.	OLOSUHDEMITTAUS.....	37
5.1	Mittausjärjestelmän toiminta.....	37
5.2	Mitattavat ympäristösuureet ja anturit	38
5.3	NFC-teknologian käyttö.....	39
5.4	Mobiili-ohjelmistot ja pilvipalvelu	40
5.5	Mittauspilottien tuloksista.....	41
5.6	Parannuskohteita ja hyötyseikkoja	43
6.	TULEVAISUUDEN KEHITYSNÄKYMÄT	46

6.1	Kehityssuunta laitteistoista ohjelmistoihin	46
6.2	Kehityssuuntana marginaaliset toimialat	46
6.3	Kehityssuuntana pilvisovellukset	47
6.4	Kehityssuuntana anturISOvellukset	47
6.5	Huomioitavaa RFID:n teknologian kehityskulusta	47
6.6	Sensorijärjestelmien kehitysnäkymistä.....	48
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET	50
	LÄHTEET	51

KUVALUETTELO

Kuva 1. RFID-järjestelmän perusrakenne (Rftrend 2014)	5
Kuva 2. RFID-tunnisteiden kokojen ja mallien kehitystä. (Landt 2005, s. 10).....	7
Kuva 3. RFID:n historian aikajaksotus. (Seppä 2011; Microsoft 2014).....	8
Kuva 4. RFID-järjestelmän yleiskuvaus. (RFIDLabd 2015)	10
Kuva 5. Tunnisteiden toiminnallisuusvertailu (RFIDLabd 2015).....	18
Kuva 6. Sensoreita olosuhdemittauksiin (TUTWSN -mittausverkko 2009)	24
Kuva 7. Langattomien verkkoteknologioiden ryhmittely. (Hännikäinen 2010)	27
Kuva 8. Yleiskuvaa sensoriverkon kommunikaatiosta. (Soini 2009).....	31
Kuva 9. Langattomien sensoriverkkojen sovellusarkkitehtuuri (Hännikäinen 2010)	32
Kuva 10. Olosuhteiden mittaustietojen keräys, valvonta, tallennus ja kontrollointi (Green ICT 2014)	38
Kuva 11. NFC-tekniikkaa sisältäviä lämpötilan ja kosteuden mittausantureita (Green ICT 2014)	39
Kuva 12. Anturin tietoja mobiiliohjelmiston näytöllä. (Technosoft 2014)	40
Kuva 13. Mobiilisovelluksen näytön tietoja ja käyriä lämpötiloista ja kosteudesta. (Track It 2014).....	41
Kuva 14. Ensimmäisen pilotin lämpötila- ja kosteuskäyrät (Green ICT 2014).....	42
Kuva 15. Toisen pilotin lämpötila- ja kosteuskäyrät (Green ICT 2014).....	42

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Bluetooth	Avoin standardi laitteiden väliseen langattomaan radiokommunkointiin lähietäisyydeltä
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
DOS	Denial-of-Service
EAS	Electronic article surveillance
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EHS	European Home Systems
EIB	European Installation Bus
EPC	Electronic Product Code
ERP	Enterprise resource planning
Gen 2	UHF Generation 2 standardi
HF	High frequency, korkea taajuus
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen tekniikan alan järjestö
IEEE 802.15.4	Standard for low-rate wireless personal area networks, standardi vähäkuormitteisille langattomille henkilökohtaisille alueverkoille
IEC	International Electrotechnical Commission
IFF	Identification friend or foe
ISM	Industrial, Scientific and Medical, maailmanlaajuinen radiotaajuus-kaista
ISO	International Organization of Standards, kansainvälinen standardisoimisjärjestö

ITU	International Telecommunication Union, kansainvälinen televiestintäliitto
LF	Low frequency, matala taajuus
LON	Local Operating Network
LR-WPAN	Low-Rate Wireless Private Area Network
NFC	Near Field Communication, lähitunnistustekniikka
RF	Radio-frequency, radiotekniikka
RFID	Radio-frequency identification, tunnistus käyttäen radiosignaalia
RO	Read-only, lukumuisti
RTLS	Real-time location system, reaaliaikainen paikannusjärjestelmä
RW	Read/Write, luku – ja kirjoitusmuisti
SRAM	Static random-access memory
TIRIS	Texas Instruments Registration and Identification System
UHF	Ultra High Frequency, ultra korkea taajuus
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko
WORM	Write-once-read-many, kirjoitus ja lukumuistityyppi
WPAN	Wireless Personal Area Network
WSN	Wireless Sensor Network, langaton anturiverkko

1. JOHDANTO

Tässä luvussa käsitellään diplomityön aiheen taustoja, määritetään toteutetun työn tavoitteet ja asetetut rajaukset sekä esitellään diplomityön rakenne. Työn rakenne koostuu useasta kokonaisuudesta, kuten RFID:n (Radio-frequency identification) historiasta, RFID-teknologian teoriasta, sensoriverkoista, olosuhdemittauspilotin toiminnasta, RFID:n ja sensorijärjestelmien tulevaisuuden kehitysnäkymistä.

Tämä diplomityö tehdään suurimmalta osalta kirjallisuuteen perustuvana tutkimuksena. Kirjallisuutta on etsitty perinteisten hakukoneiden ja muun muassa eri hakukoneiden, kuten Googlen ja Yahoön avulla. RFID-teknologiasta ja sensoriverkoista on kirjoitettu useita suomalaisia opinnäytetöitä ja alan perusteoksia sekä siitä löytyy paljon verkkolähteitä ja dokumentteja. Varsinaisesti olosuhteiden mittaamisesta ja sen järjestelmistä ei tietoa ole vielä paljon saatavilla ja kyseisen tiedon saatavuus on vielä haasteellista.

RFID-tekniikasta on myös kirjoitettu paljon kirjoja. Sensoriverkoista on kirjoitettu joi-tain englanninkielisiä kirjoja. Työssä käytettyjen kirjallisten teosten heikkous on kuitenkin se, että tietty osa niistä on julkaistu jo lähes 5-10 vuotta sitten, joten etenkin kaupallisista asioista kertovia tietoja ei voi pitää kovin luotettavina lähteinä. Nykytilanteessa RFID:n ja sensoreiden perustekniikka ei ole paljoa muuttunut, sillä monet jo 2000-luvun alkupuolella käyttöön otetuista standardeista ovat vielä luotettavia.

Viime vuosikymmeninä automaattisen tunnistuksen ja tiedonkeruun järjestelmät ovat lisääntyneet huomattavasti yhä useammilla sovellusalueilla. Automaattiseksi tunnistuksen ja tiedonkeruun järjestelmiksi luetaan: viivakoodi, tekstintunnistus, biometrinen tunnistus, sirukortit ja radiotaajuinen etätunnistus eli RFID. Lisäksi sensoreiden ja niiden verkkojen avulla voidaan kerätä tietoa eri seikoista, kuten ympäristöarvoista lämpötila, kosteus, valoisuus tai hiilidioksidipitoisuus. Sensoreiden ja RFID:n avulla voidaan seurata ja suorittaa nykyään liikkuvaa olosuhteiden mittausta tai vaikkapa perinteisesti kulunvalvontaa. Kyseisiä järjestelmiä tapaa muun muassa teollisuudessa, kiinteistöissä, maataloudessa, logistiikan ja materiaalivirtojen hallinnassa ja kaupoissa. Tunnistuksia voidaan tehdä tuotteilla, eläimillä, ihmisillä biologissa passeissa tai mitata lämpötiloja, ilman kosteutta tai hiilidioksidipitoisuutta antureilla. Tässä diplomityössä keskitytään RFID:n ja langattomiin sensorijärjestelmiin. Työssä pyritään tarkastelemaan RFID:n ja sensoreiden avulla tapahtuvaa liikkuvaa olosuhdemittausta ja arvioida tulevaisuuden näkökulmia ja hyötykäyttöä.

RFID on radioaaltoja hyväksikäyttävä langaton kommunikointitekniikka, jota käytetään tunnistamaan tunnisteella merkittyjä esineitä tai ihmisiä yksilöinä. RFID:tä on jo pit-

kään pidetty viivakoodien korvaajana parempien ominaisuuksien takia. Toistaiseksi kuitenkin viivakoodien halpa hinta pitää sen silti vielä käytössä. RFID-teknologian markkinaosuus kuitenkin kasvaa vuosi vuodelta ja monet yrityksetkin käyttävät jo RFID:tä ja sensoreita eri tarkoituksiin, kuten tuotantoketjun seuraamiseen, kulunvalvontaan tai olosuhteiden ympäristöolojen valvontaan kiinteistöissä.

Työn historiaosuuden tarkoituksena on antaa yleinen käsitys RFID:n synnystä alkuajoilta 1930-luvulta ja siitä, kuinka RFID-tekniikka on kehittynyt nykypäivään mennessä. RFID-teknologian teoriaosuuden jälkeen lukijalla pitäisi olla ymmärrys perinteisten järjestelmien eri komponenteista, niiden toiminnasta, ominaisuuksista, kuten tunnistaiden tyypeistä, taajuusalueista ja fysikaalisista seikoista. Sensorijärjestelmien teoriaosuuteen kuuluvat mm. sensoriverkot, tiedonsiirto ja kommunikointi. Teknologia- ja sensorien teoriaosuuksissa on myös käytössä olevien standardien esittelyä sekä lopuksi sensoriverkkojen yleisiä käyttökohteita.

Olosuhdemittaus-luvun tavoite on havainnollistaa RFID-tekniikan teorioita liikkuvissa olosuhdemittauksissa. Luvussa perehdytään esimerkin avulla, kuinka olosuhdemittausjärjestelmät käytännössä toimivat. Osiossa tarkastellaan muun muassa mittausjärjestelmän komponentteja ja niiden toimintaa. Käytännön esimerkkikohteesta esitetään liikuvasta kuljetuksen tai kiinteistön pilotin olosuhdemittauskohteesta selvitystä. Tehdään myös havaintoja, kuinka tietoa kerätään NFC-puhelimella ja sensorijärjestelmä toimii ja arvioidaan sen hyötynäkökohtia.

Tulevaisuuden kehitysnäkymät-luvussa arvioidaan RFID:n ja sensorijärjestelmien nykytilaa ja pohditaan mitä eri suuntauksia voisi muodostua tulevaisuudessa maailmanlaajuisesti. Luvussa tarkastellaan mahdollisia kehityssuuntauksia ja niiden jakautumista eri toimialoille ja markkinoille sekä mille aloille RFID-tekniikan sovellutukset ovat asettuneet. Luvussa pohditaan, mitkä sektorit voisivat olla markkinoiden kannalta potentiaalisia hyötyjiä tulevaisuudessa.

Luku 1 toimii diplomityön johdantona. Luvussa käsitellään työn taustoja, tavoitteet ja rajaukset sekä työn rakenne. Luvussa 2 tehdään katsaus RFID:n historiaan: mistä RFID alkoi ja mitkä olivat tärkeimmät seikat sen tekniikan historiassa. Luvussa 3 ja 4 käydään läpi RFID:n teknologiaosuus ja sensorijärjestelmien rakenne. Niissä esitetään järjestelmät, niiden osat ja tyypit, tunnistaiden käyttötaajuuudet ja niiden muistit, fysikaaliset seikat, NFC sekä kansainväliset standardit. Luvussa 5 sovelletaan käytännön esimerkkinä liikkuvaa olosuhdemittautusta havainnollistamalla sitä RFID:n ja sensoriperusteisen olosuhdejärjestelmän avulla. Luvussa 6 tarkastellaan RFID:n tämän hetken kaupallisen tilanteen laajuutta maailmanlaajuisesti ja kehityssuuntauksia sekä otetaan kantaa myös sensoriverkkojen kehitysnäkymiin tulevaisuudessa. Luvussa käsitellään muun muassa yleisimpiä sovellusaloja ja kaupallisia näkemyksiä tulevaisuudessa. Luvussa 7 esitetään diplomityön johtopäätökset.

2. RFID-HISTORIA

Luvussa käsitellään yleisellä tasolla, kuinka kyseinen tekniikka on kehittynyt alkuaajoista 1930-luvulta nykypäivään 2010-luvulle. Selvennökseksi luvusta on luotu ja esitetty aikajaksotus RFID-historian kulusta tämän osion lopulla.

2.1 Alkuaajoista 1990-luvulle

Ensimmäiset RFID-järjestelmät, joissa on käytetty lähettämiä ja kyseisen lähettimen tunnistamiseen tarkoitettua havainta-laitteistoa, pystytään sijoittamaan toisen maailmansodan läheiseen aikaan 1930-1950 -luville. Tekniikan juuret liittyvät vuoteen 1935, jolloin lentokoneita ja -aluksia havaitseva tutka keksittiin. (RFIDLab 2014) Varsinaisen RFID-tekniikan alkulähdettä on kuitenkin vaikea määrittää tarkasti.

Perinteisen tutkan ongelmana oli, että vaikka laite havaitsikin lähestyvät lentokoneet, ei siinä pystynyt erottamaan omia ilma-aluksia vihollisen sotakoneista. Kyseiseen ongelmaan kehitettiin ensimmäinen RFID-tekniikkaa muistuttava järjestelmä, ns. ”Identification friend or foe” eli IFF, johon kuuluivat omien joukkojen lentokoneissa oleva lähetin ja maassa oleva radioasema. Radioasema lähetti signaalin lähestyvän lentokoneen suuntaan, jolloin lentokoneen lähetin signaalin saatuaan alkoi lähettää omaa signaalia takaisinpäin, jolloin maassa pystyttiin tunnistamaan lentokone omaksi koneeksi. (RFID-Lab, 2014).

Toisen maailmansodan jälkeen vuonna 1948 Harry Stockman julkaisi tieteellisen julkaisun kyseisestä point-to-point-kommunikointitekniikasta. Tämä julkaisu on ensimmäisiä RFID:n syntyyn vaikuttaneista teoksista. (Hunt et al. 2007, s. 53). Tosin Neuvostoliitossa alettiin soveltaa RFID:n vakoilukäyttöä jo vuodesta 1945. (Seppä 2011, s. 5)

1960-luvulla RFID:n teorian kehitys jatkui ja tuolloin suoritettiin ensimmäisiä kenttätesteitä. Niitä tehtiin pääasiassa elektromagneettisen säteilyn sekä RFID-innovaatioiden teorian tutkimisella. Huomattavia teoksia ovat tässä asiassa R.F. Harringtonin elektromagneettista säteilyä tarkastelevat tutkimukset ”Field Measurements Using Active Scatterers” ja ”Theory of Loaded Scatterers”, jotka ovat tehty vuosina 1963 - 1964. Itse RFID-innovaatioihin liittyviä julkaisuja ovat muun muassa Robert Richardsonin ”Remotely activated radio frequency powered devices” vuodelta 1963, ja J. H. Vogelmannin ”Passive data transmission techniques utilizing radar beams” vuodelta 1968. (Landt 2001, s. 4; 2005, s. 9)

Samaisella vuosikymmenellä kenttätestien lisäksi tehtiin yksittäisiä kaupallisia sovelluksia. Tuolloin perustettiin yrityksiä, kuten Checkpoint ja Sensormatic. Checkpointin tarkoituksena oli kehittää vähittäiskauppoihin ja myöhemmin myös muun muassa kirjastoihin varkaudenestoon pyrkiviä ratkaisuja, jotka käyttäisivät hyväkseen radioaaltoja. EAS-varkaudenhavaitsemisjärjestelmissä (Electronic article surveillance) käytettävät tunnisteet sisälsivät yhden bitin verran muistia ilmaisemaan, onko kyseinen tuote ostettu vai varastettu. EAS-järjestelmäratkaisut eivät näin ollen kuulu RFID:n piiriin, koska ne eivät kykene erottamaan tuotteita toisistaan. EAS-järjestelmät voivat havaita ainoastaan tunnisteiden aktiivisen paikallaolon. (Landt 2001, s. 4; 2005, s. 9)

Seuraavilla vuosikymmenillä 1970 - 1980 luvuilla tapahtui RFID-tekniikan kaupallistuminen. RFID-tekniikan kehitys alkoi kasvaa voimakkaasti. Yritykset, akateemiset instituutiot ja hallinnolliset virastot alkoivat kiinnostua RFID:stä. Vuosikymmenellä tehtiin ja julkaistiin tutkimuksia. Alfred Koellen, Steven Deppin and Robert Freymanin tekivät tutkimuksen nimeltään "Short-Range Radio- Telemetry for Electronic Identification Using Modulated Backscatter" vuonna 1975. Tämä aloitti passiivisten RFID-tunnisteiden kehityksen. (Landt 2001, s. 4; 2005, s. 9)

Yhdysvallat ja sen hallinto aloitti tutkimukset kulkuvälineiden tunnistamiseksi. 1970-luvun lopussa alettiin tehdä tutkimuksia tietokoneiden ja tietojenkäsittelyn käyttöä RFID-tunnistustekniikassa. Nämä tutkimukset ovat mahdollistaneet myöhemmin kätevän ja taloudellisen tavan kerätä ja hallita informaatiota tietokonejärjestelmissä. (Hunt et al. 2007, s. 27)

Varsinaisesti 1980-luvulla ilmestyivät ensimmäiset kaupalliset RFID-sovellukset ja passiiviset tunnisteet. Passiiviset tunnisteet käyttivät CMOS-teknologiaa (Complementary Metal Oxide Semiconductor), joka käytti energialähteenä sähkömagneettista induktiota lukijasta, eikä näin ollen tarvittu erillistä virtalähdettä. Ensimmäiset passiiviset tunnisteet toimivat taajuusalueella 100 kHz - 250 kHz. (Seppä 2011, s. 5-6) Vuosikymmenellä RFID-sovellukset olivat pitkälti hyvin yksinkertaisia, jotka sisälsivät maataloudessa karjan yksilötunnistusta, tuotteiden kuljetuksen hallintaa ja henkilöiden kulunvalvontaa. (Hunt et al. 2007, s. 28)

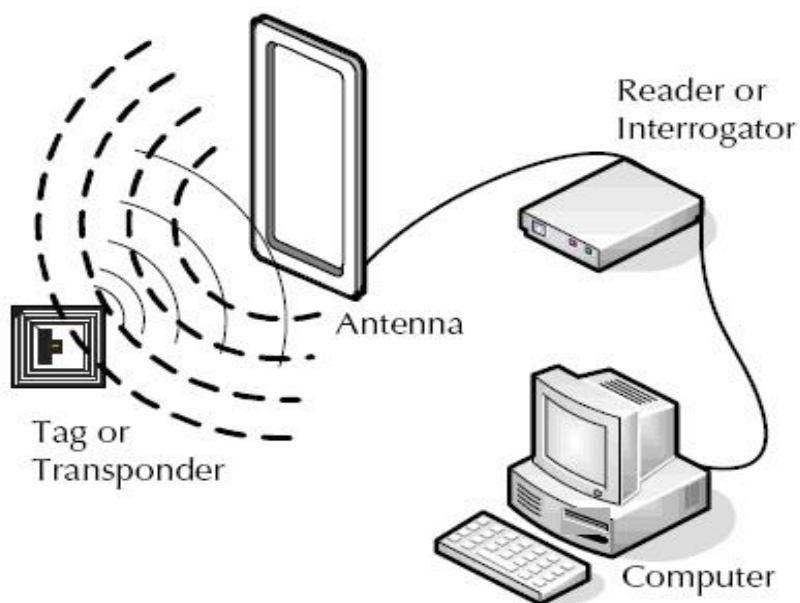
Ensimmäinen kaupallinen tietullijärjestelmä, jossa käytettiin RFID-tekniikkaa, otettiin käyttöön Euroopassa ja Norjassa vuonna 1987. Nämä järjestelmät olivat vuosikymmenellä lähes aina sovelluskohtaisia. Kaupallista kilpailua alalla oli aika vähän, minkä vuoksi kehitys hidastui ja järjestelmien hinnat pysyivät korkeina. (Landt 2005, s. 10). Tärkein syy johtui tekniikasta, LF-taajuusalueella toimivat RFID-tunnisteet edellyttivät usean kierroksen pituisia lankakäämejä. Tämän vuoksi etätunnisteet olivat erittäin kalliita. (Seppä 2011, s. 6)

1980-lukua voidaankin pitää alkavan RFID-tekniikan kokeiluvuosikymmenenä. Tänä aikajaksena havaittiin tekniikan rajoitukset ja myös sen liian kallis hinta. Tietyissä erityissovelluksissa tekniikka lopullisesti vakiintui. Tämä aiheutti uuden HF-taajuisen tekniikan kehitystyön alkamisen. Vuosikymmentä voidaan pitää innovaatiomielessä vaatimattomana, mutta 1980-luku oli välttämätön pioneerivaihe, jonka vuoksi RFID-tekniikka herätti kiinnostusta ja kehitys jatkui kokeilujen myötä. (Seppä 2011, s. 6)

1990-luvun aikana RFID-tekniikan kehittyminen liittyi pääosin laajeneviin tietullisovel-luksiin Yhdysvalloissa (Landt 2001, s. 5) sekä HF-tunnisteiden käyttöönottoon, koska ymmärrettiin, että taajuutta nostamalla ja korvaamalla lankakäämi ns. etsausprosessilla, joka tapahtui kemiallisesti syövyttämällä haluttuun muotoon valmistetulla antennilla. Tämä aiheutti sen että tunnisteiden kokoa ja hintaa pystyttiin alentamaan. Perinteiseksi HF-taajuudeksi vakioitui 13,56 MHz, joka myös nosti tunnisteiden lukuetaisyyttä LF-tunnisteiden noin 10 cm:stä peräti yhteen metriin. (Seppä 2011, s. 6)

Vuosikymmenen aikana Yhdysvalloissa RFID-tekniikka otettiin käyttöön monenlaisissa sovelluksissa. Varsinkin tietullisovel-lukset pystyivät huomaamaan autojen tunnisteet eri nopeuksissa moottoriteillä. Ensimmäinen tällainen elektroninen tietullijärjestelmä otettiin käyttöön Oklahomassa vuonna 1991. Lisäksi eri standardien käyttö alettiin havaita sovellusten lukijoiden avulla. (Landt 2005, s. 10)

Kuvassa 1 on esitetty perinteinen RFID-järjestelmä yhdistettynä tietokoneeseen.



Kuva 1. RFID-järjestelmän perusrakenne (Rftrend 2014)

RFID alkoi olla kovassa käytössä ja lisääntynyt merkittävästi myös muilla kaupallisilla ja teknisillä aloilla. Esimerkiksi voidaan mainita puolijohteiden valmistajayrityksen

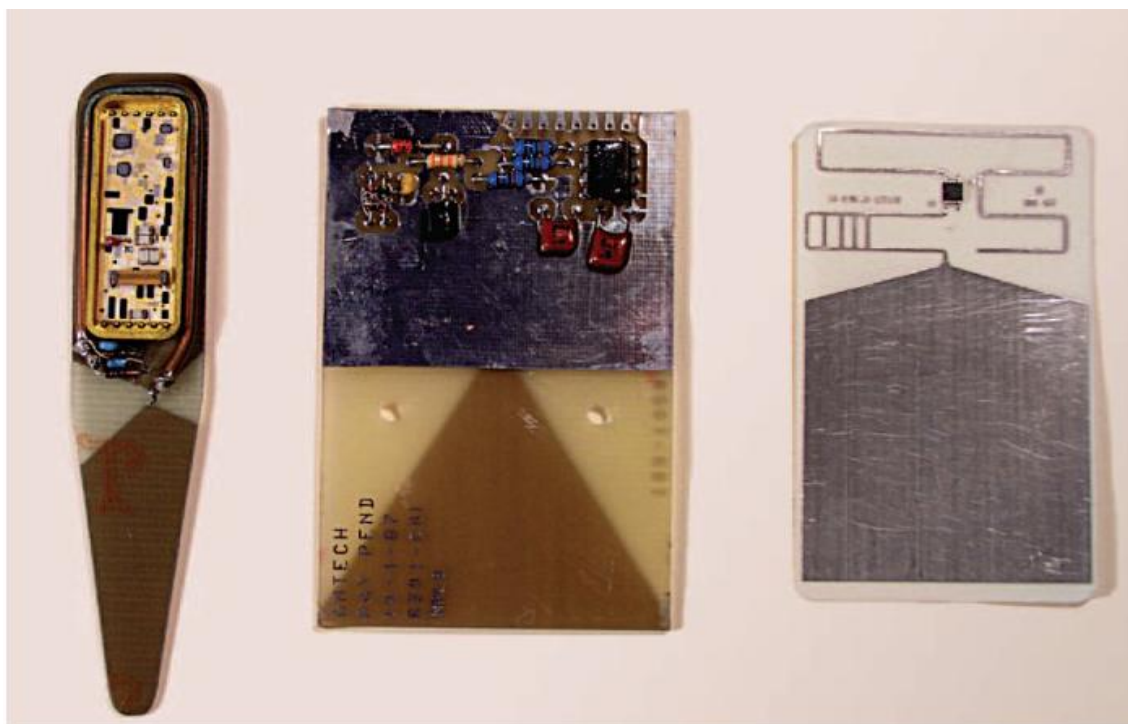
Texas Instrumentsin kehittämä TIRIS-järjestelmä (Texas Instruments Registration and Identification System). Tämä järjestelmä kehitti ratkaisuja muun muassa auton käynnistykseen, kulkuneuvojen kulunvalvontaan sekä laskettelupassijärjestelmiin. Lukuisat sovellusalat ja tekniikan kehityksen hidastuminen aiheuttivat myös tarpeen tekniikan standardoinnille. Standardointiorganisaatioita ovat mm. CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations), ISO (International Organization of Standards) ja Auto-ID Center. Nämä organisaatiot alkoivat julkaista standardeja ja suosituksia HF-taajuuksiin. (Hunt et al. 2007, s. 28-29)

Vuosikymmenen lopulla vuonna 1999 perustettiin standardointiorganisaatio Auto-ID Center ja kyseisen organisaation tehtävänä oli myös luoda maailmanlaajuinen numerointijärjestelmästandardi EPC (Electronic Product Code) ja kehittää siihen läheisesti liittyvää teknologiaa. Tämä numerointistandardi oli tarkoitettu lähinnä kansainvälisiin avoimiin logistiikkaketjuihin. Auto-ID Center kehitti numerointijärjestelmän kattamaan tiedonsiirtoprotokollan ja tunnisteiden tietosisällön. Auto-ID Center kehitti lisäksi verkkoinfrastruktuurin palvelemaan tiedon varastointia ja siirtoa globaalisti eri toimijoiden välillä. (RFIDLabb 2014).

2.2 Nykyisyys 2000-2010 luvuilla

2000-luvulla UHF-antennien hyödyntäminen alkoi taloudellisesti. Ensimmäiset UHF-antennit (Ultra High Frequency) tosin kehitettiin jo 1990-luvulla. HF-tekniikka oli toimiva ja standardoitu, alkoi Auto-ID Center standardoida UHF-tekniikkaa logistiikkasovelluksiin. Auto-ID Centerin tavoitteena oli minimoida EPC-koodilla varustettujen tunnisteiden muistin määrä 96 bittiseen standardiin. Tämän arvioitiin riittävän jokaisen maailmassa myytävän tuotteen, paketin ja lavan merkitsemiseen. Toisena tavoitteena alettiin edellä mainittua standardointia käyttää myös mahdollistamaan useiden, jopa tuhannen tunnisteiden lukemisen samanaikaisesti. Tärkein asia ei ollut lisämuistissa tai tiedon salauksessa. Pää tavoitteena oli edullinen ja kertakäyttöinen tunniste logistiikkasovelluksia varten. (Seppä 2011, s. 7)

Tällä vuosikymmenellä RFID-tekniikan kehitys eteni myös siihen, että tunnisteissa oli integroitua komponentteja jäljellä vain CMOS-mikropiiri ja antenni. Tunnisteiden koko alkoi vaikuttaa teknisiin seikkoihin. Antennin ja tunnisteiden koko tulivat riippuvaisiksi toisistaan. Tämän johdosta mahdollistui pienempien tunnisteiden kehittäminen ja niiden liittäminen tarraan, jonka pystyi laittamaan esimerkiksi autojen tuulilaseihin ja tuotepakkauksiin. (Landt 2005, s. 11)



Kuva 2. RFID-tunnisteiden kokojen ja mallien kehitystä. (Landt 2005, s. 10)

Vasemmalla kuvassa 2 on esitetty 12-bittinen RO-tunniste (Read-only) vuodelta 1976, jossa on CMOS-mikropiiri varustettuna paksulla kalvovastuksella. Keskellä on 128-bittinen RO-tunniste vuodelta 1987, jossa on CMOS-piirin lisäksi ulkoisia komponentteja. Oikealla kuvassa on 1024-bittinen RW-tunniste (Read/Write), jossa on integroitu CMOS-piiri vuodelta 1999. (Landt 2005, s. 10)

2000-luku on merkittävin vuosikymmen RFID-historiassa. Passiiviset tunnisteet (HF ja UHF) ovat vakiinnuttaneet asemansa. Kirjastot alkoivat soveltaa myös HF-tekniikkaa, jota oli jo aiemmalla vuosikymmenellä käytetty matkalipuissa ja kulunvalvonnassa. Auto-ID Centerin kehitystyön lisäksi toinen merkittävä asia oli, että amerikkalainen kauppaketju Walmart aloitti laajat RFID-testaukset vuosina 2002-2004. Todellinen buumi alkoi, kun RFID-teollisuus alkoi käyttää UHF-tunnisteita yhä enemmän ja maailmalla käynnistyi useita pilotteja. (Seppä 2011, s. 7)

Tunnisteiden komponenttien hinnat muuttuivat edullisemmaksi ja hinnat laskivat edelleen. EPC-standardin julkistamisen jälkeen RFID:n käyttäminen eri sovellusalueilla lisääntyi kuten toimitusketjun, logistiikan ja tuotteen valvonnassa. Kauppaketju Walmart ja USA:n puolustusministeriö alkoivat hyödyntää toimissaan RFID-tekniikkaa vuonna 2003, jolloin tekniikan markkinat lähtivät voimakkaaseen kasvuun. (Hunt et al. 2007, s. 29)

Vuosikymmenellä EPC-standardin mukaisia etätunnistimia alettiin tutkia laajamittaisesti monenlaisissa logistisissa ongelmissa. Myös auto- ja lentokoneteollisuus aloitti useita pilotteja laitteiden, kuljetusalustojen ja osien merkkäämiseksi. Vasta vuosina 2006 - 2007 EPC-standardia alettiin käyttää laajamittaisesti, koska yritykset jäädyttivät RFID-pilotteja ja jäivät odottamaan edullisia etätunnisteita. (Seppä 2011, s. 7)

Kuvassa 3 on selvitys RFID:n historian aikajaksoista ja kuvassa on nähtävissä kehityksen eteneminen eri vuosikymmenittäin.

1940 - 1950	1960	1970	1980	1990	2000-2010
Tekniikkaan vaikuttaa II-maailmansota	Teorian kehitystyö	Yleinen kiinnostus tekniikkaa kohtaan nousee	Kaupallisten sovellusten lisääntyminen	HF-taajuuden kehitys ja käyttöönotto	UHF-taajuuden kehitys ja käyttöönotto
IFF-järjestelmä	Ensimmäiset kaupalliset sovellukset	Passiivisten tunnisteen kehitys	Passiivisten tunnisteen käyttöönotto	Tekniikan standardoinnin aloittaminen	RFID-markkinoiden nousu
Point-to-point-tekniikan kehitys	EAS-järjestelmä	Kehitys tietokoneiden yhdistämiseksi RFID-järjestelmiin	Integroitu CMOS-mikropiiri tunnisteeissa	Tekniikan laaja hyödyntäminen tietulli-, kulunvalvonta- ja eläintunnistusjärjestelmissä	Tekniikan vakiintuminen NFC:n kehitys

Kuva 3. RFID:n historian aikajaksotus. (Seppä 2011; Microsoft 2014)

Kehityskulku ja RFID-tekniikan yleistyminen maailman väestön keskuudessa on aiheuttanut paljon kysymyksiä tekniikan eettisyyden ja uhkiin liittyvissä asioissa, koska tunnisteen lukuetaisyys oli kasvanut merkittävästi. Ohjelmistojen suunnitteluun, järjestelmien ylläpitämiseen, mikropiirien ja antennien muotoiluun sekä tiedon salaamiseen on alettu panostamaan enemmän. (Cormode 2006)

Toisaalta RFID ei ole merkittävä uhka yksityisyydelle, kun sitä verrataan muihin teknologioihin, kuten internet, matkapuhelimet, pankkikortit, kameravalvonta, satelliittipainaus ja turvatarkastukset lentokentillä. Nykytilanteessa RFID-järjestelmiä valvotaan ja seurataan niin, että ihmisistä kerättyjä tietoja ei voi väärinkäyttää. Mahdollisesti tuotteisiin pitkät lukuetaisyydet pitää tuhota tai deaktivoida esim. ostostapahtuman yhteydessä. Kaikissa etätunnistukseen liittyvissä asioissa, tuotteissa tulee olla tästä informoiva merkintä. Kauppojen on informoitava asiakkaitansa mahdollisista tietoturvaongelmista, jos etätunniste jätetään aktiiviseksi. RFID:tä on käytetty yleisesti jo yli 30 vuotta. Tänä aikana on sattunut vain jotain väärinkäytöspauksia, joten RFID-käytön myötä esimerkiksi auton varastaminen on vaikeutunut. (Seppä 2011)

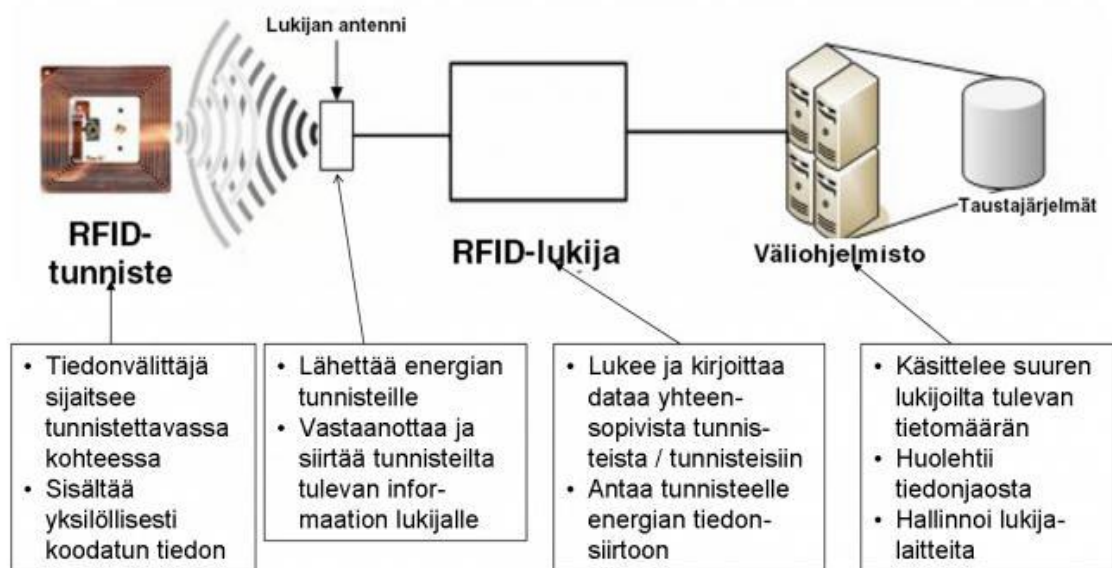
RFID-historiaosuuden jälkeen tässä diplomityössä siirrytään teknologiaosuuteen, jossa paneudutaan tarkemmin muun muassa tunnistisiin, laitteisiin, ohjelmistoihin, taajuus-alueisiin, fysikaalisiin seikkoihin, standardointeihin ja NFC-tekniikkaan.

3. RFID-TEKNOLOGIAKATSAUS

Tämän luvun tarkoituksena on esittää RFID-järjestelmien eri komponentteja, tutkitaan millä taajuuksilla kommunikointi eri komponenttien välillä tapahtuu ja minkälainen muisti on tunnistepaikoilla.

Keskeisimmät RFID-järjestelmän komponenteista koostuvat RFID-lukijasta, RFID-tunnisteesta sekä ohjelmistosta, joiden avulla tunnistetietoa hyödynnetään halutulla tavalla. Väli- ja taustaohjelmistoilla voidaan hallita tietoja. Lisäksi järjestelmään kuuluvat lukijaan tarvittaessa yhdistettävät antennit sekä tietokone ohjelmia ja tunnistetiedon käsittelyä varten.

Kuvassa 4 on esitelty RFID-järjestelmän yleiskuvaus.



Kuva 4. RFID-järjestelmän yleiskuvaus. (RFIDLabd 2015)

RFID:tä on verrattu usein viivakoodiin ja sitä voidaan pitää viivakoodin kehittyneempänä versiona. Taulukossa 1 suoritetaan RFID:n ja viivakoodin vertailua toisiinsa. Taulukon tiedot perustuvat RFID Lab Finland ry:n antamiin tietoihin. (Isomäki 2012, s. 7)

Taulukko 1. RFID:n ja viivakoodin vertailua toisiinsa.

RFID	Viivakoodi
Lukijan ja tunnisteen välillä ei vaadita näköyhteyttä	Lukijan ja tunnisteen välillä vaaditaan näköyhteys
Luketaisyys 5-10 metriä (passiivinen UHF)	Luketaisyys 20-30cm
Tunnisteen tietoa voidaan muuttaa kirjoittamalla	Vain luku mahdollista
Monta tunnistetta voidaan lukea samanaikaisesti	Voidaan lukea vain yksi tunniste kerrallaan
Tunnistus automaattinen, ei manuaalista työtä	Manuaalista työtä yleensä tarvitaan
Toimii likaisissa ja kuluttavissa ympäristöissä	Voidaan suojata, mutta altis naarmuuntumiselle ja lialle
Vaikea väärentää	Helposti kopioitavissa
RFID-tunnisteen hinta vaihtelee kalliista melko halpaan, halvimmat ovat n. 10 snt ja Erikoistunnisteiden hinnat ovat jopa euroja	Viivakoodin hinta on halpa
Voidaan käyttää varkaudenestotarkoitukseen	Ei sovellu varkaudenestotarkoituksiin
Jokainen tunnisteen sisältävä tuote on yksilöitävissä	Tavallisesti vain tuotetyyppi tunnistettavissa
Haastava lukea vain tietty tunniste (tähtäys), mikäli tunnistetta on paljon lähekkäin ja luketaisyys on pitkä.	Yksittäisen tunnisteen lukeminen helppoa, voidaan tähdätä aina tiettyyn viivakoodiin.

3.1 Tunnisteet

RFID-järjestelmien peruskomponentteihin kuuluvat tunnisteet. Niitä voidaan kutsua myös nimellä ”tagit”. Tunnisteet sisältävät perinteisesti mikropiirin muistin säilyttämisen ja antennin signaalin vastaanottamisen sekä lähettämisen. Tunniste voi olla pakattuna esimerkiksi muovista valmistettuun kapseliin. Antenni on myös yksi RFID-peruskomponenteista. Tällaista antennin ja mikropiirin muodostamaa kokonaisuutta nimitetään tunnisteeksi. (Hunt et al. 2007, s. 6-7)

RFID-tunnisteet voidaan jakaa kolmeen luokkaan niiden energianlähteiden mukaan. Aktiiviset tunnisteet sisältävät oman virtalähteen ja pystyvät näin lähettämään itse signaalin. Passiiviset tunnisteet eivät vaadi toimiakseen omaa virtalähdettä vaan käyttävät hyödykseen lukijasta lähetettyjä radioaaltoja tai sähkömagneettista kenttää energianlähteenä. Aktiivisen ja passiivisen lisäksi on olemassa semipassiivisia tunnisteita. Niistä voidaan käyttää myös nimitystä puolipassiivinen tai paristotuettu tunniste. Aktiivisten lähettimien tapaan nämä puolipassiiviset tunnisteet sisältävät oman virtalähteen sisäisiin toimintoihin, mutta käyttävät lukijan lähettämää signaalia lähettääkseen tietoa. (Finkenzeller 2010, s. 22-23)

3.1.1 Aktiivinen tunniste

Aktiiviset RFID-tunnisteet eroavat niitä vastaavista passiivisista tunnisteista niin, että ne käyttävät tehtäviinsä omaa sisäistä energianlähdettä esimerkiksi akun ja pariston avulla. Aktiiviset tunnisteet voivat käyttää myös virtalähdettään aurinkokennon kautta. (Finkenzeller 2010, s. 22)

Aktiivinen tunniste ei ole riippuvainen lukijan magneettikentän energiasta. Tunniste pystyy toimimaan itsenäisesti ja sisältää eri toimintoja, jotka vaativat enemmän energiaa. Tämän vuoksi aktiivisten tunnisteiden muisti on yleensä suurempi kuin passiivisten tunnisteiden. Aktiivisten tunnisteiden muisti voi nousta lähes 128 kilotavuun. (Hunt et al. 2007, s. 7)

Aktiivisten tunnisteiden sisäinen energianlähde mahdollistaa myös suuremman toimintasäteen lukijan kanssa, ja aktiivisissa tageissa se voi olla tyypillisesti 100 metriä tai enemmän. (OmniID 2009, s. 2) Aktiivisia RFID-tunnisteita on kahta eri perustyyppiä. Ne ovat transponder- ja beacon-tunnisteet. Transponder-tunniste on passiivisena niin kauan kunnes lukijan signaali herättää sen, jolloin tunniste aloittaa lähettää omaa dataansa. Tällainen toimintatapa säästää virtalähdettä. Ns. beacon-tunnisteet lähettävät dataansa tasaisin väliajoin, jolloin ne sopivat hyvin esimerkiksi ympäristön tarkkailuun elintarvikevarastossa. Aktiiviset tunnisteet ovat suurempia kuin passiiviset tunnisteet, joka johtuu sisäisestä energialähteestä ja sovelluskohtaisista suojaamisvaatimuksista.

Tällöin myös kyseisten tunnisteen hinta on suurempi kuin passiivisilla. (OmniID 2009, s. 3)

3.1.2 Passiivinen tunnistee

Passiivisissa tunnisteeissa ei ole sisällä omaa virtalähdettä, vaan nämä tunnisteeet vaativat energianlähteeksi lukijan magneettisen tai elektromagneettisen kentän. Tästä aiheutuu erityisiä rajoitteita passiivisia tunnisteeita käyttäville järjestelmille. Passiivisten tunnisteen toiminta rajoittuu muutamisiin metreihin etäisyyden osalta, joka on paljon pienempi kuin aktiivisilla tunnisteeilla. Kommunikoimiseen tarvittava energia tulee yksinomaan lukijasta ja sen vuoksi siltä vaaditaan enemmän tehoa. Passiivisissa tageissa on sisällä myös vähemmän muistia verrattuna aktiivisiin tunnisteeisiin. Perinteisissä passiivisissa tunnisteeissa on yleensä vain tunnisteen ID-numero, jonka avulla se pystytään erottamaan muista tunnisteeista. (Hunt et al. 2007, s. 7)

Passiiviset tunnisteeet eivät sisällä omaa virtalähdettä ja siksi ne ovat halvempia kuin aktiiviset tunnisteeet. Halvimmillaan passiivisten tunnisteen hinnat ovat noin 0,1 dollaria, mutta hinta voi olla kymmeniä senttejä kalliimpikin. Kalleimmillaan passiivisten tunnisteen hinnat ovat 1,00 dollaria. Kun passiivisia tunnisteeita ostetaan suurina määrinä voi yksittäisen tunnisteen hinta pudota 0,01 dollariin tai jopa sitäkin alemmas. Tunnisteeista puuttuu virtalähde, joka mahdollistaa myös sen, että passiivisten tunnisteen koko voi olla erittäin pieni. (Hunt et al. 2007, s. 22-23)

3.1.3 Puolipassiivinen tunnistee

Paristotuettuja RFID-tunnisteeita kutsutaan puolipassiiviksi tunnisteeiksi tai semipassiiviksi tunnisteeiksi. Puolipassiiviset tunnisteeet sisältävät oman virtalähteen, mutta käyttävät lukijan signaalin energiaa, jotta voivat lähettää oman signaalin tunnisteeesta. Puolipassiiviset tunnisteeet käyttävät sisäistä virtalähdettään, jotta voivat antaa energiaa tunnisteen sisäisille toiminnoille, kuten ympäristön lämpötilan ja kosteuden mittaamiseen. Puolipassiiviset tunnisteeet eivät käytä virtalähdettä signaalinsa lähettämiseen aktiivisten tunnisteen tapaan. (Hunt et al. 2007, s. 7)

3.2 Lukija

Lukija kuuluu myös RFID-järjestelmien peruskomponentteihin. Lukijan tehtävänä näissä järjestelmissä on toimia rajapintana tunnisteen ja väliohjelmistojen välillä. Lukijan tehtäviin kuuluvat käytännössä tiedon lukeminen ja kirjoittaminen tunnisteeeseen, tiedon

välittäminen väliohjelmistosta tunnisteeseen ja myös toisin päin. Lukijan tehtäviin kuuluu lisäksi energian välittäminen passiivisille tunnisteille. (Hunt et al. 2007)

Fyysisinä komponentteina lukija-laitteisiin kuuluvat perinteisesti yksi tai useampi antenni, jonka avulla lukija suorittaa kommunikaatiota tunnisteiden kanssa, ohjainyksikkönä ja verkkorajapintana väliohjelmistoja varten. Lukijassa on ohjainyksikkö, jonka tehtäviin kuuluu kommunikointi väli- ja taustaohjelmien kanssa. Sen tehtävänä on myös taustaohjelmien käskyjen toteuttaminen. Ohjainyksikkö hallinnoi myös kommunikointia tunnisteiden kanssa ja hoitaa signaalien muuntamisen sekä järjestelmän kompleksisuudesta johtuen salaa tunnisteiden ja lukijan välisen tietoliikenteen. Verkkorajapinta voidaan yhdistää lukijan väliohjelmistoon kiinteästi tai langattomasti riippuen lukijan tyypistä. (Finkenzeller 2010; Glover et al. 2006)

3.3 Taustajärjestelmä ja ohjelmistot

Taustajärjestelmä jaetaan kahteen osaan, jotka ovat väliohjelmisto ja taustaohjelmisto. Taustajärjestelmä on tärkeä osa RFID-järjestelmää, koska se kerää dataa lukijoilta ja ohjaa tiedonkulkua. Taustajärjestelmässä voidaan käyttää yksilöivää tuotekoodia RFID-tunnisteissa ja tuotekoodia käytetään avaimena, kun tietokannasta haetaan esim. tuotteeseen kuuluvaa informaatiota. (Rintala-Runsala et al. 2004)

Väliohjelmistoiksi kutsutaan ohjelmia, jotka sijaitsevat RFID-järjestelmissä rajapintana lukijoiden ja taustaohjelmien välissä. Väliohjelmistojen perustehtävänä on ottaa vastaan ensiksi lukijoilta saamansa tieto ja muuttaa se taustaohjelmille, kuten esimerkiksi ERP-järjestelmiä varten hyödylliseen muotoon. Lukijat voivat suorittaa lukemista saman tunnisteiden tiedon satoja kertoja sekunnissa ja sen vuoksi tällainen suodattamis- ja puskurointitoimenpide on järjestelmissä välttämätöntä. (Violino 2005)

Väliohjelmistojen toimintaan kuuluvat usein myös lukija-laitteiden hallinta sekä tiedon reitittäminen oikeille taustaohjelmille. Taustaohjelmistot taas toimivat ihmisen ja RFID-järjestelmien välisenä rajapintana ja ovat normaalisti sovelluskohtaisia. (Hunt et al. 2007; Violino 2005)

3.4 Taajuusalueet

Eri taajuusalueet liittyvät olennaisesti RFID-järjestelmiin. Kommunikoinnin edellytys on tunnisteiden ja lukijan välillä, että niiden tulee olla konfiguroituneena samaan taajuuteen. RFID-järjestelmien käyttötaajuuksia voidaan jakaa karkeasti voimakkuuksiltaan neljään eri taajuusluokkaan: LF-, HF-, UHF- ja mikroaaltotaajuuksiin.

Tunniste ja lukija on suunniteltu kommunikoidaan keskenään radioteitse juuri tietyllä taajuudella. Taajuudet vaikuttavat lähinnä sovellusten vaatimaan etäisyyteen tunnisteen ja lukijan välillä sekä myös tiedonsiirron nopeuteen. Eri taajuusalueilla kommunikointiin kytketty fysikaalinen mekanismi voi olla erilainen. LF- ja HF-taajuusalueilla käytetään induktiivista kytkentää, kun taas UHF- ja mikroaaltotaajuuksilla ovat käytössä radioaallot. (RFIDLabc 2014)

LF

LF (Low Frequency) -taajuusalueella eli matalan taajuusjärjestelmät toimivat yleensä 125 kHz taajuudella, jolloin tiedonsiirtonopeus on pienempi kuin muilla taajuusalueilla. Matalan taajuusalueen järjestelmiä ei käytetä enää paljon uusissa sovelluskohteissa, vaan taajuusalueen käyttö sopii lähinnä tiettyihin kulunvalvonnan ja eläintunnistuksen sovelluksiin. (RFIDLabc 2014)

HF

HF (High Frequency) -alueella on yleisemmin käytetty standarditaajuutta 13,56MHz ja se on kansainvälisesti vapaa taajuus. Tätä taajuutta käytetään yleensä lähietäisyydellä tunnistamisessa, jota tapahtuu esim. kulunvalvonnassa.

HF-taajuusjärjestelmillä on myös mielenkiintoisia uusia sovelluskohteita ja järjestelmä on hyvin käyttökelpoinen vielä nykypäivänä. Suurin mahdollinen lukuetaisyys antennin ja sirun välillä on noin 1,5 m optimiolosuhteissa, yleensä lukuetaisyys alle 1m. HF-tekniikan etuja verrattuna seuraavaan UHF-tekniikkaan ovat kentän parempi läpäisykyky vettä sisältäviin aineisiin, esimerkiksi ihmisiin ja puihin, Teollisuusympäristöissä HF-tekniikka kestää enemmän häiriöitä ja tekniikka ongelmattomampi heijastusten suhteen sekä lukualueen rajausta on helpompaa. (RFIDLabc 2014)

UHF

UHF (Ultra High Frequency) on kolmas RFID-järjestelmän taajuusalue ja se on kohtalaisen uusi keksintö. RFID-taajuudet UHF-taajuusalueella vaihtelevat eri maissa, esimerkiksi Yhdysvalloissa RFID-järjestelmien käyttämä UHF-taajuusalue on välillä 902 - 928 MHz, mutta eurooppalainen sallittu taajuusalue on hieman alempi, 869 MHz taajuuden ympärillä. UHF-tekniikka on vartenotettava mahdollisuus varsinkin logistiikan sovelluksissa. UHF-alueen sovelluksia käytetään maailmalla tunnetuiksi tulleissa logis-

tiikan toimitusketjujen RFID-lukijoiden tekniikassa. Tällaisia yhtiöitä ovat mm. Wal-Mart, Tesco ja Metro Group. (RFIDLabc 2014)

UHF-taajuusalueella toimiva RFID-tekniikka toimii fysikaalisesti eri tavalla kuin HF ja LF -taajuusalueella toimivat järjestelmät. UHF-alueen RFID-tunnistuksessa on kysymys erityisestä tekniikasta, josta käytetään nimitystä "far-field". Tunniste ja lukija kommunikoi sähkömagneettista säteilyä radioaaltoja lähettämällä, kuten esimerkiksi radiossa ja matkapuhelimessa tapahtuu. HF- ja LF-alueen RFID-tunnistuksessa on taas kysymys ns. induktiivisesta kytkennästä, josta käytetään nimitystä "near-field". Tässä tapauksessa tunniste reagoi lukijan luomaan oskilloivaan magneettikenttään. Jos UHF-tekniikkaa voidaan verrata radion toimintaan, niin LF- ja HF-tekniikka toimii lähinnä muuntajan tavoin. Tämä asia on tarkemmin selvitetty kohdassa 3.6 tekniikan tehonsyöttö ja fysikaalinen toiminta. (RFIDLabc 2014)

Nykyisin UHF-taajuudelle on kehitetty ns. tunnistaminen (Near Field UHF). Monet isot markkinoilla toimivat ketjut kuten Wal-Mart ja Metro käyttävät tätä ratkaisuna yksittäistuotteiden tunnistamiseen. (RFIDLabc 2014)

Muita käytettyjä sovelluksia UHF-alueen sovelluksia ovat liikkuvan ajoneuvon tunnistus ja myös kuljetuskonttien tunnistaminen. Passiiviset UHF-tekniikat ovat tulevaisuudessa valtaamassa alaa aktiivisilta tekniikoilta, koska aktiiviset tunnisteet ovat kalliimpia ja ne on uusittava määrääjain. Passiivisilla tunnisteilla päästään nykyään myös pidempiin lukuetaisyyksiin. (Idesco 2014)

Mikroaallot

Mikroaaltoalueella, yleisin toimintataajuus on 2,4GHz. Mikroaaltoja käytetään suuremmilta osin aktiivitunnistuksessa, jossa oma virtalähde sisältää tunnisteiden. Toimintataaisyydet ovat aktiivitunnistuksessa monesti suuria, jopa yli 10 metriä. Mikroaaltoja hyödynnetään automaattisissa tunnistuksissa, joita on käytössä tietulleissa ja ajoneuvoja tunnistavissa sovelluksissa. (RFIDLabc 2014) Myös langattomat puhelimet ja eräät lääketieteelliset laitteet käyttävät tätä taajuutta.

3.5 Muistit

RFID-tunnisteissa käytetään yksinkertaisimmillaan vain hyvin pieniä muisteja. Kun halutaan tallentaa entistä enemmän tietoja, voidaan käyttää jopa usean kilotavun muisteja. RFID-tunnisteiden muistien tyypit voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään, joiden ominaisuuksia ovat muistin lukumahdollisuus, lukumahdollisuus ohjelmoitavuudella tai lukija kirjoitusmahdollisuus. Read-Only-muisteihin (R/O) on tallennettu tuotantovaiheessa

oma tunnistuskoodinsa. Read-only-muistia voi ainoastaan lukea. Read-Only -muistin etuna on sen halpa hinta muihin nähden. Write-Once Read Many -muistiin (WORM) voidaan yleensä erillisellä laitteella tallentaa uutta tietoa mutta ei RFID-tunnisteen etälukemisen yhteydessä. Read-Write-muistiin (R/W) voidaan tallentaa tietoa RFID-tunnisteen etälukemisen yhteydessä. Jos halutaan käyttää tallennusmahdollisuutta passiivisissa RFID-tunnisteissa, käytetään usein EEPROM-muistia (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory). EEPROM on haihtumaton puolijohdemuisti, joka ei tarvitse käyttöjännitettä säilyttääkseen dataa. (Koskinen 2007, s. 5-6)

3.6 Tehonsyöttö ja fysikaalinen toiminta

Kommunikoinnin voidaan ajatella olevan tiedon siirtämistä lähetyspaikasta vastaanotto-paikkaan. Tämä tapahtuu radioaaltojen avulla energiansiirtoa hyväksi käyttäen ja sisältää informaation koodattuna. RFID-lukijat ja -tunnisteet kommunikoivat kahdella eri tavalla. Nämä toimintatavat ovat kytKentä ja takaisinsironta (backscattering). LF- ja HF-taajuusalueilla lukija ja tunniste muodostavat keskenään induktiivisen kytkennän muuntajan tapaan. Tunniste sisältää yleensä kuparisia silmukoita, jotka muodostavat käämin ja toimivat ns. tunnisteen antennin vastikkeena. (RFIDLabd 2015)

Lukijassa on vastaavanlainen kuparinen silmukka. Tässä tapauksessa tunniste ja lukija eivät varsinaisesti välitä radioaaltoja keskenään, vaan keskustelu niiden välillä tapahtuu moduloimalla oskilloivaa magneettikenttää. Lukijan avulla luodaan oskilloiva magneettikenttä. Tämä tapahtuu siten että vaihtovirtaa johdetaan antennisilmukkaan jollain taajuudella, esim. 13,56Mhz. (RFIDLabd 2015)

Kommunikaatio passiivisessa tunnisteeissa tapahtuu lukijan kanssa joko induktiivisen kytkennän tai radioaaltojen avulla. Tähän voi vaikuttaa järjestelmän käyttötaajuus. Aiemmin mainittiin, että matalan taajuuden tunnisteen LF- ja HF-kommunikaatio tapahtuu induktiivisen kytkennän avulla. Sen sijaan korkean taajuuden tunnisteen UHF ja mikroaallot toimivat radioaaltojen kautta. Siinä lukija luo oskilloivan ja jaksollisesti värähtelevän magneettikentän johtamalla vaihtovirtaa. Magneettikenttä indusoi lähellä olevan tunnisteen antennin eli käämin, josta tunnisteen mikrosiru saa virtansa. Mikrosirun tieto moduloi tunnisteen käämin virtaa, jonka lukijan antenni tunnistaa. Radioaaltojen avulla kommunikointi tapahtuu siten, että tunnisteen dipoliantenni vastaanottaa lukijan lähettämät radioaallot ja heijastaa niitä takaisin, joka sisältää mikrosirun tiedot. (RFIDLabc 2014)

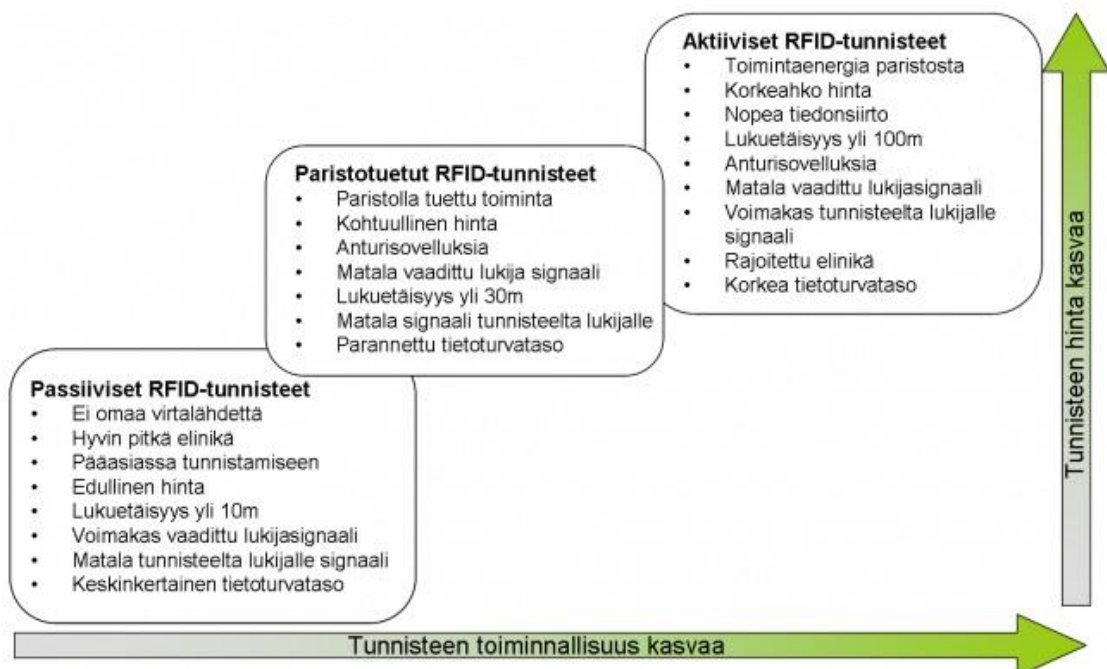
Magneettikenttä pystyy indusoimaan vastaavan vaihtovirran tunnisteen lähellä sijaitsevaan käämiin. Sirun tunniste saa virtansa indusoituneesta virrasta ja sirun EEPROM-muistissa oleva dataa voidaan käyttää moduloimaan tunnisteen käämin virtaa. Tämä taas näkyy magneettikentän yli lukijan antennisilmukan jännitteessä. Induktiivisesta

kytkennän vuoksi tunnisteen asennolla on merkitystä, koska magneettikentän on päästävä tunnisteen käämin läpi. Käytännössä tunniste voi käytännössä olla hyvin monissa asennoissa ja tekniikka toimii virheettömästi. (RFIDLabd 2015)

UHF- ja mikroaaltotaajuusalueilla tunniste ja lukija toimivat keskustelemalla keskenään radioaaltoja välittämällä niin kuin matkapuhelimet tai radiot. Lukija lähettää antenninsa kautta radioaaltoja ja tunnistessa oleva dipoliantenni vastaanottaa aallot ja heijastaa ne takaisinpäin. Myös sirun tiedot sisältyvät lähetykseen ja siirtyvät radioaaltojen mukana. Tunnisteen avulla välitetään heijastetussa signaalissa tiedot lukijalle monella eri tavalla, esimerkiksi nostamalla heijastuneen signaalin amplitudia, siirtämällä heijastuneen signaalin vaihetta tai muuntamalla heijastuneen signaalin taajuutta. (RFIDLabd 2015)

Lukijan lähettämät radioaallot ovat yleensä polarisoituja, jolloin tunnisteen antennin asennolla on merkitystä. Lineaaripolarisoidut antennit vaativat tunnisteen antennin olevan suunnattu niin, että ympyräpolarisoidut sallivat vapaamman sijoittelun. Näiden tyyppien avulla ei voi lukea kunnolla pitkittäin radioaaltojen kulkusuuntaa vasten sijoitettuja tunnisteita. Aktiivitunnisteissa tunnistessa on oma paristo, jolloin tunniste ja lukija voivat keskustella niin kuin esimerkiksi kaksi radiota ja matkapuhelinta. (RFIDLabd 2015)

RFID:n tunnistet on jaettu kuvassa 5 kolmeen eri tunnistryhmään ja ne ovat passiiviset, paristotuetut ja aktiiviset tunnistet.



Kuva 5. Tunnisteiden toiminnallisuusvertailu (RFIDLabd 2015)

Aktiivisilla tunnisteeilla on lähetin, joka toimii signaalien lukijalle lähettämistä varten. Toimintateho saadaan yleensä mukana olevasta paristosta, mutta teho voidaan saada myös muista lähteistä. Passiiviset tunnisteeet saavat tehonsa signaalista, jonka ne vastaanottavat lukijalta. Ne käyttävät lukijan lähettämiä radioaaltoja hyödyksensä ja sitten ne lähettävät tiedot takaisin koodina lukijalle takaisinsironnan avulla. Taajuusalue, tietokapasiteetti ja käyttöteho ovat suurempi aktiivisilla tunnisteeilla. Ne pystyvät toimimaan hyvin heikkojen lukijesignaalien kanssa. Aktiiviset tunnisteeet voivat yhdistää antureiden tietoja, jotka tallentavat kauko-ohjaustietoja, kuten lämpötilat, kosteusarvot, hiilidioksidipitoisuudet ja paikannustiedot. Aktiiviset tunnisteeet ovat hinnaltaan kalleimpia ja niiden käyttämä voimanlähde tarvitsee huoltotoimenpiteitä säännöllisesti. (Rintala-Runsala et al. 2004; RFIDLabd 2015)

Passiivisissa tunnisteeissa lukijan signaalin pitää olla hyvin suuritehoinen, jotta tunnistee voi toimia virheettömästi, koska tunnistee saa tehonsa lukijalta. Vastaavasti tunnistee välittää heikon signaalin takaisin lukijalle. Aktiiviset tunnisteeet pystyvät toimimaan pienillä lukijan tehoilla ja ne pystyvät kehittämään voimakasta signaalia takaisin niiden oman voimanlähteen avulla. Aktiivinen tunnistee voi myös olla jatkuvasti toiminnassa. Se pysyy tallettamaan tietoa, vaikka lukija ei olisi päällä. Passiivinen tunnistee voi toimia ainoastaan kun lukija on lähistöllä ja päällä. Näiden ominaisuuksien vuoksi sovelluksien käyttö voi olla RFID-tekniikassa varsin erilaista. Edullisten ja pienitehoisten tunnisteeiden käyttö voi sopia erinomaisesti toimitusketjun sovelluksiin. Suuria tunnistemääriä luetaan, kun kulkevat tietyn toimintakeskuksen läpi. Passiiviset tunnisteeet ja niiden tekniikka soveltuu paremmin lyhyille lukuetaisyyksille. (Rintala-Runsala et al. 2004; RFIDLabd 2015)

Paristotuetuilla eli semi-passiivisilla tunnisteeilla saavutetaan pidempi lukuetaisyys kuin passiivisilla tunnisteeilla niiden oman virtalähteen avulla. Sitä käytetään ainoastaan tietojen lähettämiseen lukijalle. Paristotuetun tunnisteen toiminta on lähes samanlaista kuin passiivisella tunnisteeella. Paristotuettuja tunnisteeita pystytään käyttämään hyödyksi esimerkiksi tietullimaksujen keräyksessä, jossa ajoneuvojen tuulilaseihin kiinnitetään tunnisteeita. Lukija lähettää lukusignaalin tunnisteeelle. Auton tuulilasiin kiinnitetty tällainen semi-passiivinen tunnistee lähettää tiedot lukijalle virtalähteen avulla. Auton ollessa liikkeellä pystytään tietullimaksut perimään tunnisteen oman virtalähteen avulla, vaikka ajoneuvo olisi jo kauempana monen metrin etäisyydellä lukijasta. (Rintala-Runsala et al. 2004; Viitanen 2005)

3.7 Yhdistämistavat radiorajapinnassa

Radiorajapinnassa RFID-lukija ja -tunniste toimivat keskustelemalla toistensa kanssa radioaalloilla. Yhdistämiseen käytettävä tekniikka riippuu monesta eri tekijästä, mm. tarvittavasta kantamasta, käytettävistä taajuuksista ja käyttöiästä. Pääasialliset yhdistämistavat ovat heijasteperiaatteella kytkeytyminen ja induktiivinen kytkeytyminen. Eri kantaman RFID-järjestelmät jakautuvat karkeasti kahteen kategoriaan, jotka lähikenttä ja kaukokenttä. Lähikentässä on alle senttimetrin lukuetaisyys ja kaukokentässä on yli metrin lukuetaisyys. Lähikentässä käytetään yleisimmin sähkömagneettista kytkentää ja kaukokentässä taas on käytössä heijaste. (Tielinen 2011, s. 11-12)

3.8 Standardointi

Eri sovelluksiin liittyvät standardoinnit ovat tärkeitä, jotka liittyvät varsinkin kuljetuksiin ja logistiikkaan. Näin pystytään rakentamaan avoimia kuljetusketjuja. Valmistajariippumattomuus on standardien toinen tärkeä tehtävä. Kun rakennetaan suurta järjestelmää, on syytä varmistua siitä, että järjestelmään sopivia laitteita ja tunnisteita voidaan ostaa vapaasti myöhemmin. Silloin ei tarvitse sitoutua johonkin tiettyyn toimittajaan. Nämä seikat standardeissa eivät sinänsä takaa valmistajariippumattomuutta, mutta osa standardeista on vapaasti valittavissa käyttöön ja tällöin näitä laitteistoja voi alkaa valmistaa kuka tahansa. (RFIDLabb 2014)

Standardit voivat liittyä monenlaisiin asioihin. Tärkeimmät standardit ovat ISO/IEC 18000-sarjan yksittäiset standardit, jotka määrittävät ilmarajapinnan eli tiedonvälityksen protokollan ja tunnisteen tietosisällön eri taajuuksille. Vapaita standardeja ei ole LF-taajuusalueella. Monet eri sovellukset, esimerkiksi eri kulunvalvontajärjestelmät on toteutettu suljettuina järjestelminä. Nämä järjestelmät käyttävät 125 kHz taajuutta. Esimerkiksi karjan tunnistamiseen on määritelty standardi ISO11784, joka määrittää tietosisällön tunnistukseen. Standardi ISO11785 taas määrittelee tiedonsiirto-protokollan 134 kHz taajuudella. (RFIDLabb 2014)

HF-taajuusalueella 13,56Mhz taajuudella on käytössä sovittuja standardeja. Standardi ISO14443 ei varmista valmistajariippumatonta tunnisteen ja lukijoiden yhteensopivuutta, eikä näin kaikki standardien edut ole käytettävissä. Käytännössä kuitenkin Philips Mifare -tekniikka on saavuttanut de facto -standardin aseman. Mifarea käytetään erilaisissa maksusovelluksissa ja sen lukuetaisyys on rajattu 3-4 senttimetriin. Standardi ISO15693 on puolestaan valmistajariippumaton. Suomen tunnetuin siru, joka noudattaa tätä standardia on Philips I-CODE SLI. Vanhempi malli on Philipsin I-CODE, joka on aiemmin mainitun esi-standardi. Sekin on myös käyttökelpoinen siru. (RFIDLabb 2014)

Tällä hetkellä olennaisin standardi UHF-taajuusalueella on ISO18000-6C eli Gen2. Se on protokollastandardi, joka on EPC Global järjestön kehittämä maailmanlaajuisesti vuonna 2004. Sen myötä UHF-taajuuden tunnistus on tullut varmemmaksi ja myös toiminta on parantunut monilukija ympäristössä. Standardeja on ilmestynyt vuosien varrella monia ja uusin versio standardista on julkaistu vuonna 2013, joka on keskittynyt tietoturvan parantamiseen. (RFIDLabb 2014; EPC-Gen2 2014)

3.9 NFC:n käyttö älypuhelimissa

NFC (Near Field Communication) on uudenlainen teknologia, joka mahdollistaa aivan toisenlaisen tavan kommunikoida puhelimen avulla. Tällainen uusi kommunikointitapa on niin sanotusti koskettaminen. Kun kosketetaan esineitä puhelimella, voidaan näin käynnistää palveluita sekä kerätä ja välittää tietoa. Kyseessä on siis ihmiselle luonteva tapa kommunikoida ja sen avulla voidaan luoda uusia palveluita, joiden käyttö on äärimmäisen helppoa ja yksinkertaista. (NFC 2014)

Teknisesti NFC tarkoittaa sitä, että puhelin kommunikoi RFID-tekniikkaa hyväksi käyttäen. NFC-puhelimeen on sijoitettu upotettu RFID-lukija ja -tunniste. NFC-tekniikassa on fyysinen lukuetaisyys pyritty tarkoituksella rajoittamaan noin 4cm etäisyydelle, jolloin sitä ei voida salakuunnella kaukaa, mutta silti ei tarvita fyysistä kontaktia. (NFC 2014)

Tunnistusmenetelmä on lyhyen matkan langatonta teknologiaa, joka pystyy hyödyntämään edellä mainittua RFID-tekniikkaa. NFC-ratkaisumallit koostuvat antennilla varustetusta NFC-lukijasta sekä NFC-tagista, eikä tekniikka vaadi suoraa yhteyttä lukijan ja tagin välille. (NFC 2014)

NFC-tekniikan perustana on sähkömagneettinen induktio kahden laitteen välillä. Toinen laite, joka on NFC-toiminnolla varustettu älypuhelin voi toimia lukijana tai kirjoittajana ja toinen laite tai NFC-tagin voi olla tunnisteenä. Laitteiden välille syntyy siis yhteys, kun laitteet tuodaan muutaman senttimetrin päähän tai ne koskettavat toisiaan. Tällä hetkellä NFC-tekniikka toimii 13,56 MHz:n taajuudella. (NFC 2014)

Lähiviestinnän eli NFC-tekniikan avulla voidaan siis yhdistää NFC-laitteita toisiinsa langattomasti. Monissa nykyaikaisissa älypuhelimissa on tällainen toimintomahdollisuus. Älypuhelimissa NFC-toiminto on yleensä aina päällä, eikä sitä tarvitse erikseen kytkeä päälle. Lähilukutekniikan avulla voidaan kommunikoida viemällä NFC-toiminnolla varustetun matkapuhelimen kohteen lähelle tai koskettamalla sitä. Rajoituksena on se että fyysinen lukuetaisyys on noin 2 - 4 cm:n etäisyydellä, joten sitä ei pystytä lukemaan kauempaa salaa. (NFC 2014)

Fyysistä kosketusta ei siis välttämättä tarvita. Nykyisin tablettitietokone, varsinaisella tietokone tai jopa maksupääte voi olla varustettu NFC-ominaisuudella. Edellä mainituilla laitteilla voidaan myös muodostaa langaton yhteys ja jakaa sisältöä lähiviestintää tukeviin laitteisiin. (NFC 2014)

4. SENSORIT JA SENSORIJÄRJESTELMÄT

Luvussa siirrytään aiemman RFID-järjestelmien osuuden jälkeen kiinteistöissä, huoneissa ja niiden olosuhteiden mittauksissa tarvittaviin sensoreihin ja järjestelmiin. Teoriaosuus on jaettu useampaan kokonaisuuteen. Sensorit ja rakenne -osuudessa kerrotaan yksittäisen laitteen käsitettä. Sensoriverkot ja järjestelmät -osuudessa kerrotaan esimerkkinä kiinteistöautomaatiossa tarvittavista tiedonsiirtoväylistä, protokollista ja selvitetään niiden taustoja ja tarkoitusta sekä tehdään yleiskatsaus niihin. Osiossa pyritään käsittelemään langattomia sensoriverkkoja ja järjestelmiä.

4.1 Sensorit ja rakenne

Eri määritelmiä sensoreille on olemassa lukematon määrä. Esimerkkinä sensorista voidaan pitää lämpömittaria, jolla mitataan huoneen lämpötilaa. Monissa yhteyksissä sensorin synonyymiksi mielletään käsite anturi. Anturilla yleensä tarkoitetaan laitetta, joka mittaa tiettyä fyysistä ympäristösuuretta. Sensori on kokonaisuus, joka prosessoi anturilta saatua tietoa ja toimii sen mukaan. Sensoreiden eri vaatimukset, määritelmät ja odotukset voivat riippua käytettävästä sovelluksesta, jota ohjaa ajan mukana muuttuvat seikat ja käytössä oleva tekniikka.

Kiinteistön automaatiossa langattomat ja liikkuvat sensorit parantavat elinolosuhteita huomattavasti luomalla ympäristön, joka osaa optimoida lämpötilan, kosteuden ja valaistuksen säädön eri tilanteiden mukaan. Lämpötilan ja kosteuden säädössä käytettävät sensorit voisivat auttaa pitämään huoneiston lämpötilan tasaisena ja lisäten siten mukavuutta. Samoin valaistuksen säädössä voitaisiin säästää energian kulutusta, kun sensorit pitävät huoneiston valoisuuden tasaisena päivänvalon muuttuessa.

Integroitu servotekniikka ja sensorit ovat olleet jo käytössä noin viisikymmentä vuotta. Tätä yhdistelmää on käytetty esimerkiksi termostaattien ja venttiilien kontrollointiin. Tavanomaiselle sensoritekniikalle oli ominaista isot anturit, hyvät ja toimintavalmiit prosessointialustat, erityyppiset signaalin ja datan prosessointiohjelmistot. Laitteet voivat toimia yksittäisesti staattisina. Näiden laitteiden piti toimia pitkään ja tarkasti annetuissa tehtävissä, mutta tällaisten sensoreiden sovelluskohteet ovat kuitenkin rajallisia. (Phola et al. 2006, s. 724)

Tekniikan kehittyessä ovat sensorit sekä niihin kohdistuvat vaatimukset kehittymässä edelleen. Liikkuvassa olosuhteiden mittauksissa sensorit langattomuuden lisäksi ovat

viime vuosina kehittyneet voimakkaasti. Sensorilaitteet sekä anturit ovat pienentyneet ja niiden kommunikointikyky parantunut huomattavasti. Sensorijärjestelmien yhteydessä voidaan sensoreita myös luokitella eri tyyppeihin. Ne voidaan jakaa yksinkertaisiin kiinteisiin sensoreihin ja liikkuviin sensoreihin. Yksinkertaisten sensoreiden tarkoitus voi olla jonkun fyysisen suureen mittaaminen käskyjen mukaan. Liikkuva sensori voi puolestaan tarjota tietyn ympäristöolosuhteen epäsuoraa mittausta esim. kosteuden, hiilidioksidin ja perinteisen lämpötilan osalta. Näin monta mittaustoimintaa voitaisiin yhdistää prosessoinnin avulla. (Sgroi et al. 2003, s. 37)

Sensorilaitteiden rakennetta on mietitty viime vuosikymmenellä paljon. Sensorin pieni koko, joustavuus, vähävirtaisuus ja eri ominaisuudet kuvailevat tätä laitetta, joka itsenäisesti, mutta osana järjestelmän kokonaisuutta, pystyy mukautumaan vallitseviin olosuhteisiin ja pystyy suorittamaan vaadittavat toiminnot pienin resurssein. (Phola et al. 2006, s.724)

Tällaiset seikat tulevat esiin esimerkiksi vanhainkodeissa, terveyskeskuksissa tai palvelutaloissa, joissa lämpötilan, kosteuden ja muidenkin olosuhteiden reaaliaikainen mittaaminen ja muuttaminen ei ole kannattavaa tai edes mahdollista paikan henkilöstön toimesta. Kuvassa 6 on esitetty Tampereen teknillisen yliopiston kehittämästä automaattisen TUTWSN-mittausverkon langallisista, langattomista ja liikuteltavista sensoreista. Niillä on mitattu mm. liikettä, ilmakeuhkusta, hiilidioksidipitoisuutta, melua ja valoisuutta.



Kuva 6. Sensoreita olosuhtemittauksiin (TUTWSN -mittausverkko 2009)

Tässä diplomityössä käytettävällä termillä sensori tarkoitetaan laitetta, joka ominaisuuksiensa johdosta täyttää kiinteistöautomaation yhteydessä vaadittavat määritykset. Laitteen ominaisuuksiin kuuluu toiminta osana isompaa kokonaisuutta sensoriverkkoa, josta kerrotaan seuraavassa kohdassa.

4.2 Sensoriverkot ja järjestelmät

Kiinteistöautomaatiossa yksittäiset sensorit muodostavat verkon, jonka toimintatavasta vastaa protokolla. Kiinteistöautomaation tarpeisiin järjestelmäratkaisujen kehittäminen on varsin uusi ja kasvava tutkimus- ja tuotekehityskohde. Langattomat sensorijärjestelmät, eng. Wireless Sensor Networks (WSN), ovat verrattain uusi langattoman tietoliikenteen ala. Langaton sensorijärjestelmä on nimensä mukaisesti langaton, mutta verkolta vaaditaan myös täyttä huoltovapautta ja itsenäistä toimintaa, jossa sensoriverkko muodostuu, korjaantuu ja sopeutuu muutoksiin ilman erillistä järjestelmänhallintaa. (Sohraby et al. 2007)

Kiinteistöautomaatiota varten kehitetyistä Zigbee ja Z-vave ovat mesh-tyyppisiä verkko-
ratkaisuita, jotka ominaisuuksiltaan soveltuvat kiinteistöjen kontrollointiin langattomasti. Teknologiat ovat yksinkertaisia, mikä on edellytys kiinteistöautomaation yleistymiselle. (Stojmenovic 2005, s. 552; Gislason 2008, s. 448) Automaatiikkaan kuuluu myös se, että langaton sensorijärjestelmä ei vaadi erillisiä tukiasemia vaan verkon mittalaitteet välittävät myös naapuriensa tietoa eteenpäin. (Mittausverkko 2014)

Langattomassa sensoriverkossa laskenta- ja energioresursseiltaan varsin rajoittuneet eli paristokäyttöiset laitteet muodostavat yhdessä hajautetun laskenta-alustan eri sovelluksille. Samaa verkkoa voidaan siis käyttää moneen tarkoitukseen. Tavallisimmat toiminnot sensoriverkoilla ovat tunnistus ja mittaus, toimilaitteiden ohjaus, ihmisten ja tavaroiden paikannus, tiedon tallennus, sekä tiedonsiirto eri laitteiden välillä. Tavoite älykkästä pienten laitteiden verkosta on vanha, mutta tällä hetkellä elektroniikan komponenttien fyysisen koon pienentyessä, prosessoreiden laskentakapasiteetin kasvaessa sekä matalan tehonkulutuksen radioteknologioiden myötä sulautetut verkot ovat toteutettavissa. (Mittausverkko 2014)

Langattomista sensoriverkoista odotetaan jatkossa kasvavan merkittävä uusi tekniikan osa-alue. Nopea ja vaivaton asennus ilman remontointia ja rakenteisiin koskemista sekä säästöt kaapeloinnissa ovat langattoman tekniikan etuja. Lisäksi langaton verkko on myös muunneltavissa ja laajennettavissa jälkikäteen. Tämä parhaimmillaan tarkoittaa merkittäviä säästöjä sensorijärjestelmän elinkaaren aikana. Energian säästäminen on tällä hetkellä yksi tärkeimmistä sensoriverkkotekniikoiden tärkeistä eduista. Energian säästö lähtee aiempaa kattavimmista ja tosiaikaisista mittauksista, joilla voidaan valvoa mm. lämpötiloja, kosteutta, hiilidioksidia, valoisuutta ja liikettä. Tietojen avulla pystytään paitsi ohjaamaan sensorijärjestelmiä entistä tehokkaammin, myös havaitsemaan ja ennustamaan mahdolliset vikaantumiset. Esimerkiksi olosuhteiden, lämpötilojen ja terveydentilan jatkuva seuranta voidaan toteuttaa eri sovelluksissa. Tällaisia ovat mm. sairaalaympäristön ja kotiterveydenhuollon sovellukset, joiden avulla pyritään minimoimaan diagnosoinnista aiheutuva vaiva ja haitta myös normaalissa elämässä.

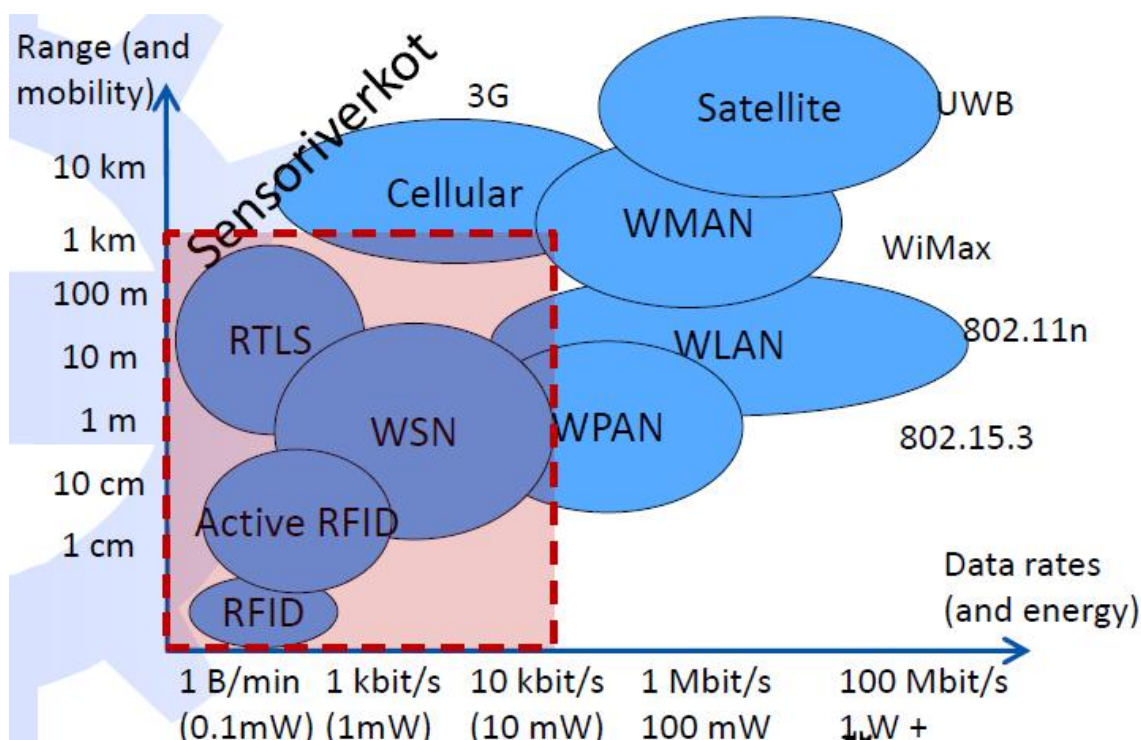
Langattoman teknologian kehittyessä tiedonsiirto on päivittäisessä elämässä lisääntynyt varsin huomattavasti. (Mittausverkko 2014)

Sensoriverkko, esimerkiksi Tampereen teknillisessä yliopistossa kehitetty TUTWSN-langaton anturiverkko sisältää paljon vähävirtaisia langattomia mittalaitteita (node) ja yhdyspisteitä (gateway). Yhdyspiste voidaan liittää Ethernet-verkkoon tai GPRS/3G-modeemiin, ja näin välitetään mittaustietoja anturiverkon palvelimelle. Sensoriverkot koostuvat muutamista tai jopa suuresta määrästä laajalle alueelle levitetyistä antureista, jotka sitten yhdessä muodostavat verkon tai anturikentän. Sensoriverkko voi olla tiheäkin, esimerkiksi samassa huoneessa voi olla satoja antureita. Antureiden ja yhdyspisteiden määrää ei tarvitse rajoittaa ja niitä voi olla tuhansiakin samassa verkossa. Anturisolmut voivat sitten mitata ympäristöstään eri suureita ja tieto lähetetään langattomasti dataa keräävälle noodille. Tämä mahdollistaa datan tarkemman analysoinnin, visualisoinnin ja edelleenvälityksen vaikkapa Internetin kautta. TUTWSN -pilottiverkosta on kehitetty kolme eri versiota, joissa painotetaan eri sovellusten vaatimuksia, kuten tiheä- ja laaja mittausverkko (low-energy), lyhyen viiveen verkko (low-latency) ja pitkän kantaman verkko (long-range). (Prossori 2009, s. 50)

Sensoriverkkoja varten on kehitetty useita langallisia ja langattomia tiedonsiirtostandardeja ja tekniikoita. Yksi niistä on IEEE:n kehittämä 802.15.4-standardi. Standardiin perustuvia ratkaisuita on teknologian kehittyessä tarjolla niin yksittäisiltä laitevalmistajilta kuin eri laitevalmistajista koostuvilta yhteenliittymiltä. Lisäksi on myös olemassa useita kilpailevia standardeja, joita on luotu palvelemaan rajatusti tiettyä tehtävää tai sitten kilpailemaan jonkin IEEE 802.15.4-standardiin perustuvan järjestelmän kanssa. Sensoriverkoille ominaista on niiden ad hoc-tyyppiset piirteet, eli ne ovat itseorganisoi-
tuvia ja myös itsekorjautuvia. Lisäksi ne ovat kestäviä vaativissa olosuhteissa ja tiedonsiirto on luotettavaa. (Sohraby et al. 2007)

Langattomat sensoriverkot ja kommunikaatio on yleensä toteutettu radiotaajuuksia hyväksi käyttäen. Langattomuutta voidaan hyödyntää joillain muillakin teknologioilla, mutta RFID-pohjaiset sensoriverkot ovat suosiossa ominaisuuksiensa takia. Ominaisuuksiin lukeutuvat muun muassa signaaliin hyvä kantama sekä toiminta vailla näköyhteyttä, joka on mahdollista radioaaltojen hyvän läpäisykyvyn ansiosta. (Kukkurainen 2009, s.16)

Sensoriverkot käyttävät rajoitetumpia toimintaetäisyyksiä ja nopeuksia, kuin esimerkiksi tavanomainen mobiiliverkko, sillä systeemi rajoittuu huomattavasti pienemmälle alueelle. Seuraavan sivun kuvassa 7 on esitetty joidenkin sensoriverkkojen toiminta-alueen kattavuutta, tiedonsiirron nopeutta, energian kulutusta ja standardien ryhmittelyä.



Kuva 7. Langattomien verkkoteknologioiden ryhmittely. (Hännikäinen 2010)

4.3 Kiinteistöautomaatio, tiedonsiirto ja väylät

Kiinteistöautomaatiojärjestelmiä on perinteinen suljettu järjestelmä ja nykyisin yleisesti käytetään avointa järjestelmää. Tämä tarkoittaa sitä, että kiinteistöautomaatiojärjestelmä on toteutettu monen eri toimittajan laitteistoilla, jotka on kytketty samaan väylään, eli tiedonsiirtokaapeliin. Avoimen väylän käyttöliittymä on standardisoitu joten hallintaohjelmia on saatavissa useilta eri valmistajilta. Myös väylään liitettäviä laitteita saa usealta eri toimittajalta ja hyvin tavanomainen Windows -käyttöjärjestelmä on useimmiten käytössä. (ST-käsikirja 2001)

Nykyään tekniikka on kehittynyt niin, että kiinteistöautomaatiojärjestelmä tavallaan keskustelee siihen liitettyjen laitteiden kanssa. Sensoreissa, antureissa ja toimilaitteissa on ns. ”äly”, joka mahdollistaa tiedonsiirron laitteiden välillä. Perinteisessä järjestelmässä toimilaitetta ohjaa tietty anturi, joka ei kommunikoi muiden toimilaitteiden kanssa. Väyläohjaus kiinteistöjen automaatiojärjestelmässä tarkoittaa sitä että, siinä laitteiden ja järjestelmien välillä on tiedonsiirtoa. Väyläohjauksia on erilaisia, riippuen järjes-

telmän laajuudesta. Ohjauksen rakenne määrittelee sen, kuinka paljon tietoa väylän sisällä liikkuu. (ST-käsikirja 2001)

Seuraavaksi alla on esitelty lyhyesti yleisemmin käytössä olevia tiedonsiirtoverkkoja. Pääosin nämä alla mainitut tiedonsiirtomenetelmät toimivat langattomasti. Kiinteistöissä on vielä käytössä langallistakin tekniikkaa.

BAC-net

BAC-net on tietoliikenneprotokolla, joka on kehitetty yhdysvalloissa varsinkin talotekniikan tarpeisiin. Kehitystyö on aloitettu jo vuonna 1987 ja BAC-net on käytössä nykyäänkin ympäri maailmaa. Järjestelmän lähtökohtana on monen eri kiinteistöautomaatiojärjestelmien integrointi yhdeksi kokonaisuudeksi. BAC-net on luotu käyttämään langallista tiedonsiirtoa, joka perustuu neljän toimintakerroksen arkkitehtuuriin. Verkoon kuuluvat laitteet pystytään mallintamaan objekteina järjestelmään. (ST-käsikirja 2001; 2006)

LON-WORKS

LON-WORKS on yhdysvaltalainen, Echelon Corporationin yleiskäyttöinen kenttäväylä ja se on julkaistu 1990. Verkon tarkoituksena on yhdistää monen toisistaan riippumattomien laitteiden toiminta väylään, joka ei ole laitevalmistajakohtainen. Laitteet kommunikoivat verkossa keskenään LonTalk- standardiprotokollan mukaisella kielellä. Väylää käytetään kiinteistö- ja taloautomaatiossa sekä myös ajoneuvoissa. Järjestelmää voidaan yhdistää verkoksi useilla erilaisilla tiedonsiirtotavoilla. Väylän etuna on se, että sillä voidaan ohjata useita eri järjestelmiä, kuten ilmanvaihto, valaistus ja jäähdytys. (ST-käsikirja 2001; 2006)

MatiBus

MatiBus on kiinteistöautomaation kenttäväylä, joka on ranskalaisen Merlin Gerin yhtiön valmistama. Väylä soveltuu erityisesti pieniin järjestelmiin, koska tiedonsiirtonopeus ei riitä suuriin järjestelmiin. Järjestelmän on patentoitu ja sen vuoksi teollinen hyödyntäminen vaatii kuulumista järjestöön. (ST-käsikirja 2001; 2006)

EHS

Eurooppalaisten yritysten kehittämä EHS- järjestelmä on tehty yhteistyönä ja se soveltuu lähinnä kodinautomaatioon ja kodinkoneisiin. Järjestelmä on hyvin suorituskykyinen ja joustava väyläratkaisu. Järjestelmän käyttö ei ole vain yleistynyt ja valmiita tuotteita on siihen saatavilla vähän. (ST-käsikirja 2001; 2006)

KNX

KNX- tiedonsiirtoväylä yhdistää EHS-, EIB- ja MatIBUS- järjestelmien parhaita puolia. Kyseistä standardia on kehittänyt KONNEX- yhteenliittymä, joka on edellä mainittujen järjestelmien oikeudenhaltioiden yhteenliittymä. KNX-väylä tukee siirtoa parikaapelissa, radiosiiirtona ja sähköverkon avulla. (ST-käsikirja 2006)

EIB

EIB on saksalainen kiinteistötekniikkaan tarkoitettu tiedonsiirtoväylä ja se on Siemens-yhtiön kehittämä. Yhdellä väyläkaapelilla on yhdistetty kaikki toiminnot. Protokolla tukee sellaisia medioita kuten parikaapeli, radioverkko, sähköverkko ja infrapuna. Se voidaan myös muihin järjestelmiin ja medioihin. EIP-järjestelmään on mahdollisuus liittää uusia toimintoja. (ST-käsikirja 2001; 2006)

ZigBee

Zigbee-nimellä tunnettu pienitehoinen, lyhyen kantaman radioliikenteen standardi kuuluu WPAN-standardiperheeseen (IEEE 802.15). Se valmistui syyskuussa 2003. Tarkoituksena on pienten ja yksinkertaisten laitteiden verkottaminen langattomasti. Zigbee on yksi esimerkki langattomasta verkkoteknologiasta, joka on suunniteltu markkinoille vähäisen virrankäytön ja turvallisuuden parantamiseksi. (Zigbee 2009)

Z-Wave

Z-Wave on langaton viestintäprotokolla, joka suunniteltu kodinautomaatioon, nimenomaan kaukosäätimen sovelluksia ja yksityiskäyttöä varten. Teknologia käyttää pienitehoista RF-signaalia ja kontrolloi elektronisia laitteita ja järjestelmiä, joita ovat esimerkiksi valaistus, pääsynvalvonta, viihdejärjestelmä ja kodinkoneet. (Z-wave 2014)

WLAN eli Wi-Fi

WLAN tai Wi-Fi, jota käytetään WLAN:in kaupallisena nimityksenä, on IEEE 802.11 -standardiin perustuva langatonta tekniikkaa. Wi-Fi:n standardoinnin hoitaa Wi-Fi Alliance, jolla on yli 300 jäsenyritystä. Sitä käytetään pääasiassa kodeissa ja julkisissa tiloissa, joissa voidaan käyttää Internetiä langattomasti. WLAN:in yleistymisen perustuu sen tekniikan käytön helppouteen. Perusnopeutena on 1 Mb/s ja tämän hetken kehittä-

tynein 802.11n-standardi on nopeudeltaan 450 Mb/s. Kantavuudeksi uusin standardi lupaa tällä hetkellä 200 metriä. Wi-Fi toimii, niin kuin moni muukin langaton tekniikka, ISM-taajuusalueilla 2,4 GHz ja 5 GHz. Wi-Fi on pääasiassa tarkoitettu laitteille, jotka sisältävät suuren virtalähteen, jota täytyy ladata lähes päivittäin. Sen vuoksi Wi-Fi ei välttämättä ole paras vaihtoehto sensoriverkoille sen runsaan virrankulutuksen takia, mutta Wi-Fi:n helppo käyttöönotto ja suuret siirtonopeudet voivat olla positiivinen asia joillekin sensoriverkkojen sovelluksille. (Wi-Fi 2014)

Bluetooth

Bluetooth -standardi, on Bluetooth Special Interest Groupin (SIG) kehittämä. Tähän edellä mainittuun järjestöön kuuluu yli 16000 jäsenyritystä ja siihen liittymällä yritys saa oikeuden käyttää myös tätä teknologiaa valmistamissaan laitteissa sekä mahdollisuuden vaikuttaa standardin kehittämiseen. Bluetooth oli tarkoitettu sarjakaapelin korvaamiseen elektronisten laitteiden välillä aikaisemmin, mutta se sisältää nykyään useita ominaisuuksia, joiden vuoksi se sopii useisiin käyttötarkoituksiin. Bluetooth 4.0 on standardin uusimpia versioita, jossa virrankulutus on erittäin vähäinen. Bluetoothin tunnettavuus ja sen muut ominaisuudet tekevät siitä varteenotettavan vaihtoehdon langattomien sensoriverkkojen tiedonsiirtoon. (Bluetooth 2014; Kuorilehto et al. 2007, s. 22)

DASH7

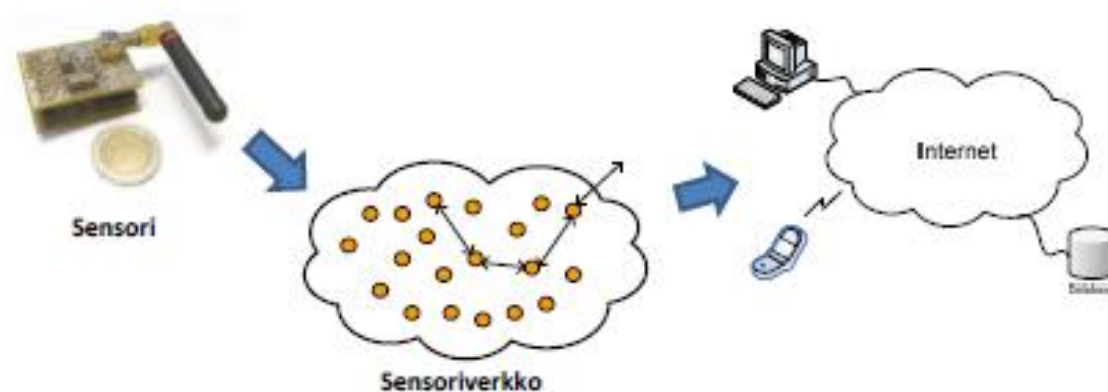
DASH7 on melko uutta langatonta teknologiaa ja se perustuu ISO 18000-7-standardiin. Se määrittää ilmarajapinnan 433 MHz:n taajuudella toimiville aktiivisille RFID-laitteille ja radiotaajuuden tunnistukselle. Etätunnistamisen lisäksi tekniikka voi mahdollistaa sensoreiden hyödyntämisen RFID-järjestelmissä. Standardia on käytetty ja hyödynnetty kuljetusketjun seurannassa ja sotilaskäytössä. (Norair 2009)

DASH7 käyttää taajuusalueena 433,04 - 434,79 MHz:n välistä kaistaa. Käytännön tiedonsiirtonopeus on 27,8kb/s ja maksiminopeudeksi arvioidaan 100 kb/s ja tiedonsiirtoon on käytössä viisi kanavaa. Toimintaetäisyys voi olla muutamasta metrillä jopa useisiin kilometreihin. (Norair 2009, s. 8) Standardin suurin etu muihin sensoriverkkojärjestelmiin nähden on matala UHF-taajuusalue. Sen tarjoama toimintaetäisyys on moninkertainen mikroaaltoalueella toimiviin teknologioihin verrattuna. Toisaalta matala taajuus asettaa erityisiä vaatimuksia antennin fyysiselle koolle ja tiedonsiirron kapasiteettia rajoittaa kapea kaistaleveys. (Norair 2009, s. 10-12)

4.4 Yhteydet ja kommunikointi

Langattomissa sensoriverkoissa kommunikointi tapahtuu siirtämällä digitaalisessa muodossa olevaa informaatiota hyväksi käyttäen säännöllistä analogista signaalia kantaaltona. Kantaalto voidaan esittää sinisignaalina, jolla on amplitudi, vaihe ja taajuus. Langattomat sensoriverkot käyttävät yleensä radiotaajuuksia hyväkseen ja sen vuoksi niille on täytynyt määritellä omat taajuuskaistansa häiriöiden vähentämiseksi ja tiedon kulun varmistamiseksi. (Kukkurainen 2009, s. 17)

Kuvasta 8 voidaan nähdä karkeasti sensoriverkon kommunikaatiota. Anturi muuttaa fyysisen ilmiön signaaliksi. Sensoriverkko sisältää useita solmuja, jotka välittävät tietoa ympäristöstä ja myös komentoja ympäristöön. Käyttäjä voi kerätä informaatiota ympäristöstä ja ohjata myös erilaisia laitteita sensoriverkon ja internetin kautta. (Soini 2009)



Kuva 8. Yleiskuvaa sensoriverkon kommunikaatiosta. (Soini 2009)

Taulukosta 2 voidaan nähdä käytetyimmät sensoriverkkotaajuuudet. Taulukosta voidaan havaita, että kaikki taajuuudet kuuluvat ITU:n myöntämiin yleiskäyttöisiin taajuuksiin 868 MHz:iä lukuunottamatta.

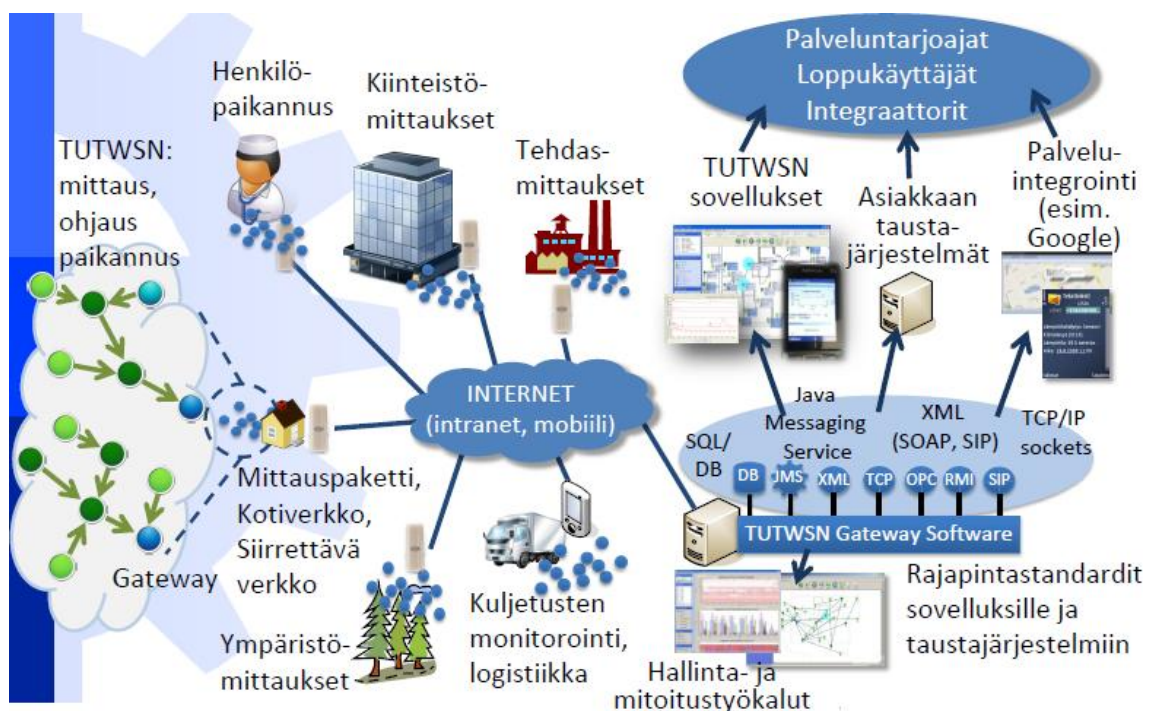
Taulukko 2. Langattomien sensoriverkkojen käytetyimmät taajuusalueet.

Taajuuskaista	Käyttöalue
433 MHz	ISM-taajuus
868 MHz	802.15.4, Eurooppa
915 MHz	802.15.4, ISM-taajuus, Yhdysvallat
2400 MHz	802.15.4, ISM-taajuus

4.5 Yleiset käyttökohteet

Sensoriverkossa voi olla monen tyyppisiä ja hyvin erilaisia sensoreita, jotka mittaavat eri asioita, kuten lämpötilaa, painetta, kosteutta, äänenvoimakkuutta, kohteen nopeutta ja suuntaa. Tästä syystä sensoriverkkojen soveltaminen eri tutkimusaloihin on hyvin laajaa. Sensoriverkkoja voidaan hyödyntää mm. teollisuuden toiminnoissa, luonnon-tarkkailussa, liikenteen valvonnassa, armeijan eri toiminnoissa, eläinten käyttäytymisen seurannassa, kuluttajille suunnatuissa laitteissa ja myös ihmisten terveydenhoidossa.

Joissain tapauksissa edellä mainituissa toiminnoissa sensoriverkot ovat olleet käytössä aikaisemminkin ja ainoastaan langallisilla sensoreilla toteutettuna. Nykyisin langattomuus tuo sovelluksille uusia ulottuvuuksia ja helpottaa sovellusten käyttöönottoa, kun kalliita ja asennuksen vaativia kaapeleita ei tarvitse vetää mitattavaan kohteeseen. Tämän sivun kuvassa on esitetty Tampereen teknillisen yliopiston kehittämä TUTWSN-sovellusarkkitehturi langattomille sensoriverkoille, joissa on nähtävissä eri käyttökohteita, taustajärjestelmät ja niihin liittyviä toimintoja sekä rajapinnat. Kuvassa 9 on nähtävissä TUTWSN-sovellusarkkitehtuuria eri käyttökohteista.



Kuva 9. Langattomien sensoriverkkojen sovellusarkkitehtuuri (Hännikäinen 2010)

4.5.1 Teollinen ja kaupallinen sektori

Langattomat sensoriverkot ovat kustannuksiltaan sopivan hintaisia ja niillä voidaan säästää kustannussäästöjä teollisuuden ja kaupan aloilla esimerkiksi kaapelointitarvetta vähentämällä. Seurattavalle ja valvottavalle alueelle voidaan sijoittaa suuri määrä sensoreita informaatiota keräämään. Sensoreiden avulla voidaan hankkia reaaliaikaista tietoa tapahtumista ja tiloista ja niin voidaan ennakoida esimerkiksi huollon ja kunnossapidon tarpeen mahdollisuutta. Sensoriverkot voivat valvoa, tarkkailla ja jäljittää omaisuutta tai ohjata ja automatisoida toimintaa. Sensoriverkkojen avulla voidaan myös linkittää teollisen ja kaupallisen yrityksen muihin tietojärjestelmiin päätöksenteon tueksi. (Barrett et al. 2003)

4.5.2 Kodin automaatio ja elektroniikka

Varsinkin kodin automaatio- ja elektroniikkasovelluksista ennustetaan kasvavaa alaa tulevina vuosina, jonka vuoksi se on hyvin potentiaalinen sovellusalue langattomille sensoriverkoille. Lyhyen kantaman langattomille sensoriverkoille on luotu tätä varten LR-WPAN (Low Rate Wireless Personal Area Network) IEEE 802.15.4 -standardi. Standardissa tiedonsiirto kapasiteetin yläraja on määritelty etenkin analysoimalla kodin automaation sovelluksia. Tällöin voi kodin automaation piiriin kuuluvat esimerkiksi:

- Kodin elektroniikka. Näitä ovat esimerkiksi henkilökohtaiset, vuorovaikutteiset kaukosäätimet.
- Mikrotietokoneiden lisälaitteistot. Näitä ovat esimerkiksi langattomat hiiret, näppäimistöt ja ohjaussauvat.
- Kiinteistöautomaatio, kuten lämmitys, valaistus, ilmastointi. Näitä ovat esimerkiksi langattomat termostaatit, verhojen säätö valoisuuden mukaan ja langattomat valokatkaisijat.
- Turvallisuus ja vartiointi. Tällöin sensoreitten asentaminen on helpompaa ja virrankulutus alhaisempaa käytettäessä sensoriverkkoja kuin langallisia tai bluetooth – sovelluksia.
- Henkilökohtainen terveydenhoito. Tällaisia ovat esimerkiksi henkilökohtaisten terveystietojen säännöllinen automaattinen mittaaminen ja mittaustulosten siirtäminen seurantajärjestelmiin.
- Lelut ja pelit. Tämä on merkittävä sovellusalue, koska lelut ja pelit ovat erityisen kustannusherkkä.

Edellä esitetyt kodin automaatio- ja elektroniikkakohteet voivat vielä lisääntyä merkittävästi lähitulevaisuudessa. (Barrett et al. 2003)

4.5.3 Kulkuvälineiden automaatio

Langattomat sensorijärjestelmät palveluineen ovat lisääntymässä myös kulkuvälineissä sitä mukaa, kun ajomukavuus lisääntyy ja kulkuvälineen hallintaan tarjotaan lisäominaisuuksia. Nykyään autoissa käytetään runsaasti erilaisia sensoreita ilmaisemassa mm. renkaiden ilmanpainetta, polttoaineen määrää, öljynpainetta ja nesteiden määrää. Kulkuvälineen kunnon ilmaisemisen lisäksi sensorijärjestelmät voivat viestittää ympäristön ja muiden ajoneuvojen kanssa optimoimalla esimerkiksi kulkureittejä tai antamalla reaaliaikaista tietoa liikenneolosuhteista. (Barrett et al. 2003)

4.5.4 Maatalousala

Maanviljelyssä voidaan hyödyntää sensoriverkkoja monella eri tavalla. Varsinkin täsmäviljelyssä, on tarve sensorijärjestelmien sovelluksille ympäristöolosuhteiden mittaamisessa. Täsmäviljely on ympäristöystävällinen järjestelmä, jonka avulla voidaan optimoida tuotteiden laatua ja määrää erittäin pienin kustannuksin, pienellä työmäärällä sekä minimoimalla luonnonolosuhteitten vaihtelujen muutoksia. Tiheillä sensorijärjestelmillä voidaan kerätä informaatiota esimerkiksi maaperän kosteudesta, PH-arvoista, ilman lämpötilasta, hiilidioksidista, sademääristä sekä muista maanviljelijälle tärkeitä asioista. (Barrett et al. 2003)

4.5.5 Logistiikka, kuljetukset ja tuotanto

Logistiikka- ja kuljetusketjun hallinta on yksi tärkeimmistä sensoriverkkojen käyttökohdista. Tässä tapauksessa sensoriverkko voidaan toteuttaa myös yhdessä laajalti käytetyn RFID-teknologian kanssa. Langattomuuden ansiosta erilaiset toteutukset mahdollistuvat paikoissa, joissa ei ole käytettävissä kiinteää verkkoinfrastruktuuria tai sellaisen rakentaminen ei ole mahdollista. Tällaisia paikkoja ovat satamat ja suuret varastohallit. (Zhao & Guibas 2004, s. 295; Callaway 2004, s. 8.)

Suurien varastojen sisätiloissa esineiden ja tuotteiden paikantaminen pystytään toteuttamaan langattomasti. Paikantamisen johdosta tavaroita ei pääse katoamaan vaan ne saadaan tehokkaasti toimitettua eteenpäin jatkokäsittelyä varten. Laivojen ja junien lastauksessa kontit voidaan sijoittaa lastauslaitureille ja kuormauspaikoille niin, että ne ovat tarpeen vaatiessa helposti löydettävissä ja saatavissa. Tavaroiden kuljetuksen seuranta ja tarkkailu voidaan järjestää niin kuin lähetysten valvontajärjestelmissä. (Zhao & Guibas 2004, s. 295; Callaway 2004, s. 7-8.)

Elintarvikkeilla kylmäketjun häiriöttömyys ja katkeamattomuus kuljetuksen aikana on erityisen tärkeää. Pilaantuneet elintarvikkeet aiheuttavat tappioita kauppiaille ja tuottajille ja ovat uhka myös terveydelle. Valvomalla ja seuraamalla tuotteiden lämpötilaa sensoriverkkojen avulla, tuotantoketjun eri vaiheissa, saataisiin tietoa mahdollisesta kylmäketjun häiriöistä ja katkeamisesta. (Römer 2004, s. 7)

Tuotannonohjausjärjestelmissä voidaan seurata ja valvoa reaaliaikaisesti varastotietoja ja tuotannon kuormitustasoa eri toimipisteiden välillä ja tätä kautta tehostaa yrityksen toimintaa. Näin ollen toimitusajat voidaan saada tarkemmin määriteltyä ja pystytään myös parantamaan tuottavuutta. (Callaway 2004, s. 8.)

4.5.6 Terveydenhuolto

Terveydenhoitoalalla sensoriverkkojen hyödyntäminen voi lisätä potilasturvallisuutta monella eri tavalla. Lisäksi sillä voidaan helpottaa sairaaloiden ja hoitolaitosten potilasosastojen kuormitusta. Esimerkiksi potilashuoneiden lämpötilaa, kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta voidaan mitata sensoriverkkojen avulla. Sensoriverkkoja hyväksi käyttävillä laitteilla voidaan suorittaa myös verenpaineen-, ruumiinlämmön-, sykkeen-, ja verenokerinmittausta. Terveydentilan seuranta voidaan suorittaa myös kotihoidossa, josta saatuja tuloksia terveydenhuollon ammattilaiset pystyvät etäyhteyden avulla seuraamaan ja valvomaan. (Farahani 2008, s. 31; Callaway 2004, s. 10.)

4.5.7 Pelastustoiminta

Pelastustoiminnassa sensoriverkkoja voidaan hyödyntää pahoissa onnettomuuksissa. Henkilöiden pelastustoiminnan työn nopeuttamiseksi ihmisiä voidaan paikantaa esimerkiksi lumivyöryonnettomuudessa. Myös maanjäristyksen tuhotessa rakennuksia voidaan uhreja paikantaa raunioista tähän käyttöön sopivilla tunnistuslaitteilla. Mahdollisesti ne voivat antaa tietoa henkilön fyysisestä kunnosta, jolloin apua eniten tarvitsevat ihmiset saavat sitä ensimmäisenä. (Callaway 2004, s. 10-11)

4.5.8 Sotilaskäyttö ja muita sovellusalueita

Sensoriverkot tarjoavat monia mahdollisuuksia sotilaskäytössä. Laitteiden pieni koko helpottaa niiden naamiointia ympäristöön. Sensoriverkkojen itsekorjautuvuus varmistaa tiedon kulkemisen eri vikatilanteissa. Koodaus hajaspekrillä ja satunnaisesti tapahtuva purskeinen tiedonsiirto tekee laitteiden havaitsemisen erittäin vaikeaksi. Sensoriverkko-

ja voidaan käyttää myös armeijan varusteiden ja ohjusten seuraamiseen, vihollisen vaikoiluun ja omien joukkojen paikantamiseen. Sensoriverkkoja voidaan lisäksi käyttää biologisten-, kemiallisten- ja ydinaseiden tunnistamiseen. (Callaway 2004, s. 7; Raghavendra et al. 2004, s. 25)

Sensoriverkkoa voidaan hyödyntää murtohälytínjärjestelmässä, joka koostuu useista antureista. Näitä ovat liiketunnistimet, magneettikytkimet, kulunvalvontajärjestelmät ja turvakamerat. Valvontajärjestelmät voidaan toteuttaa langattomasti sensoriverkkojen avulla. Tällöin käyttöympäristöjä voivat olla mm. asunnot, lentokentät, tehtaات ja voimalaitokset. Muita sovellusalueita on rajattomasti ja langatonta sensoritekniikkaa pidetäänkin tulevaisuuden tekniikkana. Muita sovellusalueita löytyy esimerkiksi lääketieteen, biologian ja maantieteen aloilta. Biologit voivat esimerkiksi tutkia jonkin eläinpopulaation levinneisyyttä häiritsemättä itse populaatiota, tai sensoriverkkojen avulla voidaan ilmaista metsäpaloja tai tutkia tornadojen liikkeitä. (Callaway 2004, s. 6; Zhao & Guibas 2004, s. 299)

5. OLOSUHDEMITTAUS

Tässä luvussa tehdään yleinen katsaus RFID-tekniikkaan perustuvan olosuhdevalvonnan pilottijärjestelmään ja sen ominaisuuksiin. Luvussa perehdytään myös Green ICT:n projektin olosuhdepilottien toimintaan ja niistä saatuihin tutkimustuloksiin.

Valitsin Green ICT:n projektin liikkuvan olosuhdepilotin tarkastetun kohteeksi, koska sen sisältää lähes viimeaikaista tietoa olosuhdemittauksesta. Mahdollisuutena oli myös valita jokin Tampereen teknillisen yliopiston tekemistä lukuisista olosuhdemittausprojekteista tarkastelukohteeksi, mutta näistä projektikohteista on jo kulunut sen verran aikaa, että Green ICT:n projekti tuntui parhaalta mahdolliselta tarkastelukohteelta.

Tampereen teknillisen yliopiston olosuhteiden mittauskohteita ovat olleet mm. kasvi-huone, navetta, kiinteistöt, sairaala jne. Mittauskohteita on ollut eri paikkakunnilla Suomen alueella. Olosuhteiden mittauksia eri pilottikohteissa on suoritettu vuosina 2005-2009 välisinä aikajaksoina. (Mittausverkko 2014)

Tutkittavat kohteet ovat hyödyllisiä ja tarkastelun arvoisia, mutta Green ICT:n projektin viimeaikaisuus on luonnollisesti merkittävä valintakriteeri. Tämän vuoksi päädyin Green ICT:n olosuhdepilotin tarkasteluun. Olosuhteiden mittausjärjestelmät ovat yksi RFID-tekniikan ja sensorijärjestelmien käyttöönoton kannalta keskeisiä sovellusaloja, jotka eivät ole yleistyneet vielä. Tulevaisuudessa olosuhdejärjestelmät tulevat todennäköisesti lisääntymään kiinteistöissä ja muissa sovellusalueilla merkittävästi. Tällä hetkellä liikuteltavien sensoreiden ja RFID -pohjaisten mittausantureiden toiminnat ovat vasta käynnistymässä maailmanlaajuisesti.

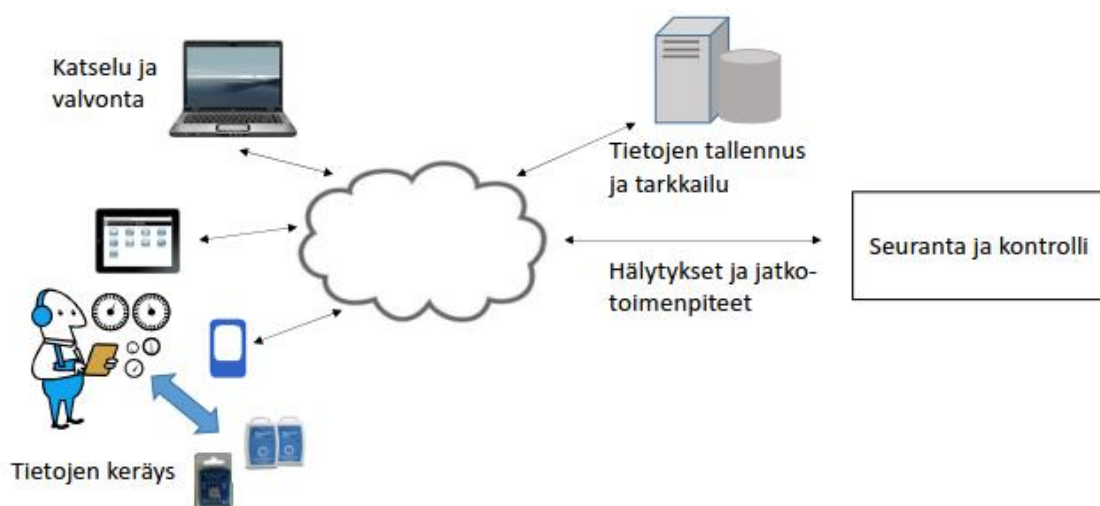
Olosuhteiden valvonnaksi voidaan kutsua laitteistoa ja ohjelmistoja, jotka mahdollistavat vaikkapa lämpötilan ja kosteuden mittauksen, sen jälkeen kun mittausanturi on tunnistanut lämpötilan ja kosteuden tilan vaikkapa huoneistossa tai muussa tilassa, kuten esimerkkitapauksen kohdalla kuljetustapahtumassa.

5.1 Mittausjärjestelmän toiminta

Olosuhdemittausjärjestelmät voidaan jakaa kahteen ryhmään: avoimiin ja suljettuihin järjestelmiin. Avoimissa järjestelmissä lukijat eli terminaalit ovat yhteydessä järjestelmän pääkoneelle verkon yli. Päätikoneella sijaitsee järjestelmän tunnistetiedot sisältävä tietokanta, jossa tunnistetietoja voidaan tarpeen mukaan säädellä. Avoimet järjestelmät ovat suositeltavampia käyttää useimmiten olosuhteiden valvontaratkaisuihin, kuten sairaaloiden ja terveyskeskusten tiloissa tai palvelutalojen huoneissa.

Green ICT:n tutkimuksessa käsitellyn liikkuvan olosuhdemittausjärjestelmän perusrakenne on esitetty kuvassa 10. Kun lämpötilan, kosteuden tai vaikkapa hiilidioksidin mittausrvoja tunnustetaan lukijan havaitsemisalueella, lukija lähettää tunnisteen tiedon verkon, esimerkiksi yrityksen intranetin, kautta hallinnointipäätteelle. Päätteellä varmistetaan olosuhteen mittausrvo ja mahdollisesti tallennetaan lukijan luoma arvo tietokantaan. Kommunikointi lukijan ja hallinnointipäätteen välillä voi järjestelmästä riippuen tapahtua esimerkiksi ethernet- tai langattomilla ratkaisilla. (Green ICT 2014)

Green ICT:n tutkimuksen liikkuva olosuhdemittaus ja sen pilvipalvelu on esitelty tietojen keräyksen, tallennuksen ja valvonnan osalta. Pilottijärjestelmän perustana olivat siirrettävät ja uudelleen kierrätettävät paristoilla käyvät mittausranturit. Niistä tiedot voidaan kerätä mobiililaitteilla pilvipalveluun, jonne tiedot tallennetaan myöhempää käyttöä varten. Samoin pilvipalvelusta voidaan lähettää hälytyksiä ja tietoja eteenpäin haluttuihin järjestelmiin. (Green ICT 2014)



Kuva 10. Olosuhteiden mittaustietojen keräys, valvonta, tallennus ja kontrollointi (Green ICT 2014)

Mittausrvoja voidaan seurata ja kontrolloida myös pilvipalvelun avulla ja tehdä analyysjä ja tulostaa raportteja järjestelmästä. (Green ICT 2014)

5.2 Mitattavat ympäristösuureet ja anturit

Sensoreiden ja antureiden avulla voidaan mitata hiilidioksidin (CO₂), lämpötilan, kosteiden arvojen lisäksi useita muita ympäristösuureita. Melu, valoisuus ja liikkeentunnistus ja mahdollisesti muiden kemiallisten yhdisteiden mittausrvo on nykyisin mahdollista. Nykyisin langattomuuden lisäksi tulevaisuudessa liikkuva olosuhdemittaus tulee lisääntymään merkittävästi kiinteistöissä, asuintiloissa ja myös muissa toiminnoissa, esimerkiksi tässä pilottijärjestelmän tapauksessa kuljetuksissa ja logistiikan alalla.

Green ICT:n tutkimuksen esimerkkitapauksessa olosuhteiden mittausta lämpötilan ja kosteuden osalta suoritettiin kahdessa eri kohteessa. Antureiden ja ohjelmistojen testausta suoritettiin kahden eri yrityksen kuljetusprosesseissa eri aikajaksoina. Molemmissa tapauksissa anturit olivat osana logistista ketjua, ensimmäisessä tapauksessa anturit olivat asiakkaalle toimitetussa pakettilähetystyössä ja toisessa tapauksessa anturit olivat kulkuneuvossa tavaroiden mukana. (Green ICT 2014)

5.3 NFC-teknologian käyttö

Tämän sivun kuvassa 11 olevat anturit ovat RFID/NFC-teknologiaan eli lähilukutekniikkaa tukevia antureita, joissa mittaussuureet voidaan tallentaa sisäisesti anturien muistiin ja jotka ovat halutessa lähiluettavissa. Kuvan vasemman puoleinen anturi on italialaisen TecnoSoft-yrityksen lämpötila-anturi ja oikeanpuoleinen on amerikkalaisen Monarch Instrument yrityksen lämpötila-/kosteusanturi. Molemmat anturit ovat patteritoiminnallisia ja itse tietojen siirto anturista ulospäin tapahtuu NFC-rajapinnan kautta. (Green ICT 2014)



Kuva 11. NFC-teknikkaa sisältäviä lämpötilan ja kosteuden mittausantureita (Green ICT 2014)

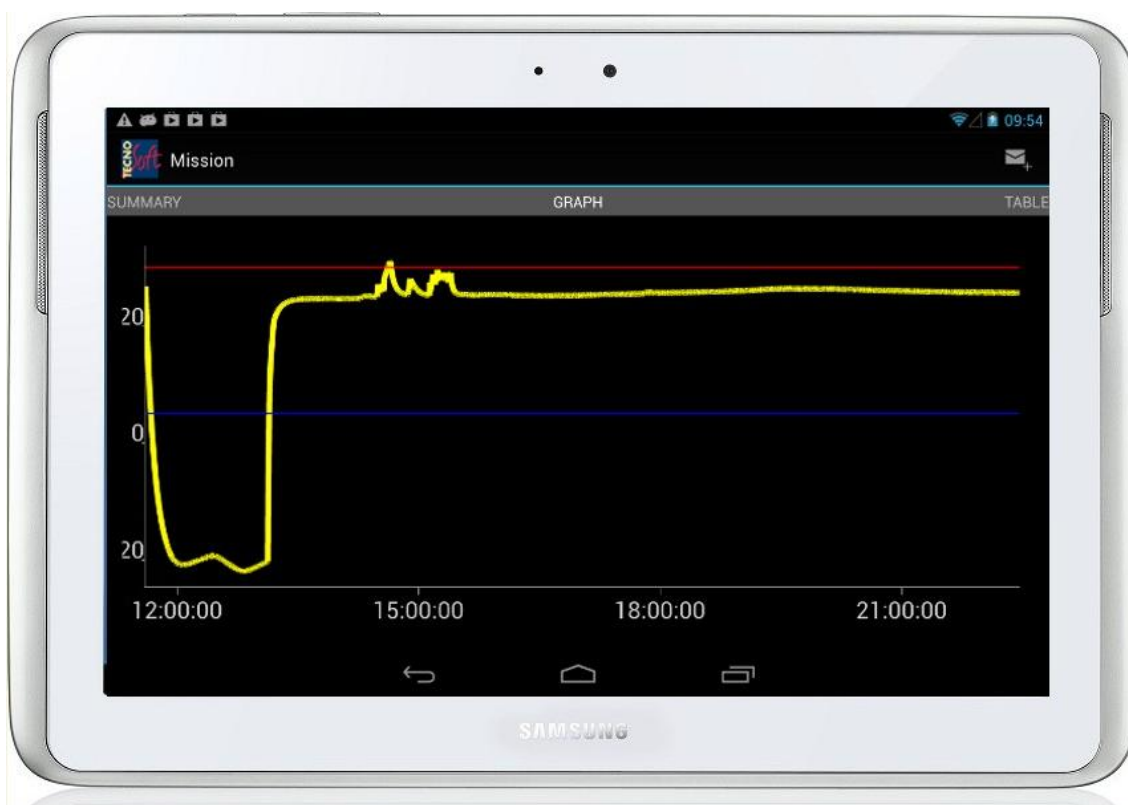
Amerikkalaisen Monarch Instrumentin anturi on monipuolisempi, kun sillä on mahdollista mitata molemmat ympäristösuureet kosteus ja lämpötila. Kumpaakin anturimallia

käytettiin Green ICT:n tutkimuksessa ja ne toimivat mittausarvojen tunnistuksessa ja keräyksessä. Anturit eivät toimineet piloteissa aivan valmistajien ja toimittajien lupauksia vastaavasti. (Green ICT 2014)

5.4 Mobiiliohjelmistot ja pilvipalvelu

Lämpötila- ja kosteusmittausantureista tiedot voidaan kerätä mobiililaitteilla pilvipalveluun, jonne voidaan tallentaa myöhempää käyttöä varten. Samoin pilvipalvelusta voidaan myös lähettää hälytyksiä tai tietoja eteenpäin haluttuihin järjestelmiin. (Green ICT 2014)

Molempiin edellä esitettyihin antureihin on saatavilla mobiiliohjelmisto valmistajalta, jolla voidaan kerätä mitatut arvot mobiililaitteelle. Mobiiliohjelmistossa on nähtävissä arvot taulukkomuotoisesti sekä graafisesti. Alla kuvassa 12 on esitetty näytön kaappauskuvia lämpötila- ja kosteusantureiden mobiiliohjelmistoista. Kuvassa on esitetty käyrää Technosoftin lämpötila-anturin näytön tiedoista ja seuraavan sivun kuvassa 13 on esitetty kuvaajia Track-It -anturin lämpötiloista ja kosteusprosentteista.



Kuva 12. Anturin tietoja mobiiliohjelmiston näytöllä. (Technosoft 2014)

Anturilla pystytään tallentamaan lähes neljätuhatta näytettä (3900 kpl). Päivitysvälinä voi olla esimerkiksi 15 minuuttia. Anturilla pystytään keräämään yli kuukauden ajan tietoa, ennen kuin anturin sisäinen muisti täyttyy. (Green ICT 2014)

Track-It:n anturissa pystytään tallentamaan lähes 8000 tapahtumaa. Anturiin voidaan tallentaa lämpötilatietoja tai kosteusprosentteja sen perusteella, joka määräytyy mittausajan kestosta ja asetuksista. Esimerkiksi, kun mitataan lämpötilaa 15 minuutin päivitysvälillä, kyseinen anturilaite pystyy keräämään ja tallentamaan lähes kolmen kuukauden tiedot (83 pv). (Green ICT 2014)



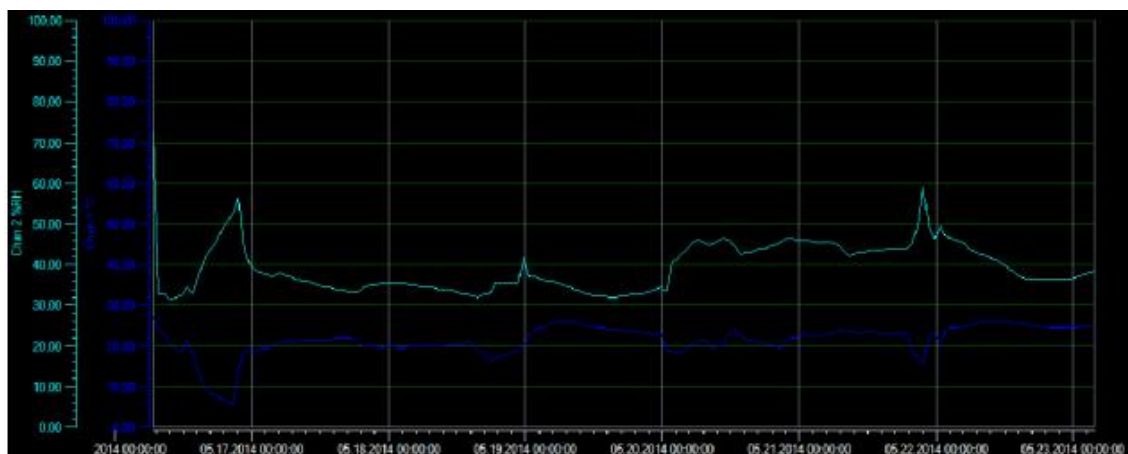
Kuva 13. Mobiilisovelluksen näytön tietoja ja käyriä lämpötiloista ja kosteudesta. (Track It 2014)

Sovellusten kuvista on nähtävissä se, että mitatuista olosuhteiden lämpötila- ja kosteusarvoista saa erilaisia näkymiä ja niistä pystytään ottamaan eri ajanjakson kuuluvia mittausarvoja päivitysvälien mukaisesti. (Green ICT 2014)

5.5 Mittauspilottien tuloksista

Tässä Green ICT:n tutkimuksessa olosuhdejärjestelmien koekäytöt suoritettiin aiemmin mainittujen esimerkkien kuljetustapahtumissa kahtena eri aikajaksona toukokuussa 2014. Näistä pilottien koekäytöistä saatiin tietoa matkalla olleista kosteus- ja lämpötilaolosuhteista sekä niiden mahdollisista vaikutuksista kuljetettaviin tavaroihin ja kohteisiin. Vuorokautisia ajanvaihteluja pystyttiin seuraamaan lämpötilakäyrän perusteella. (Green ICT 2014)

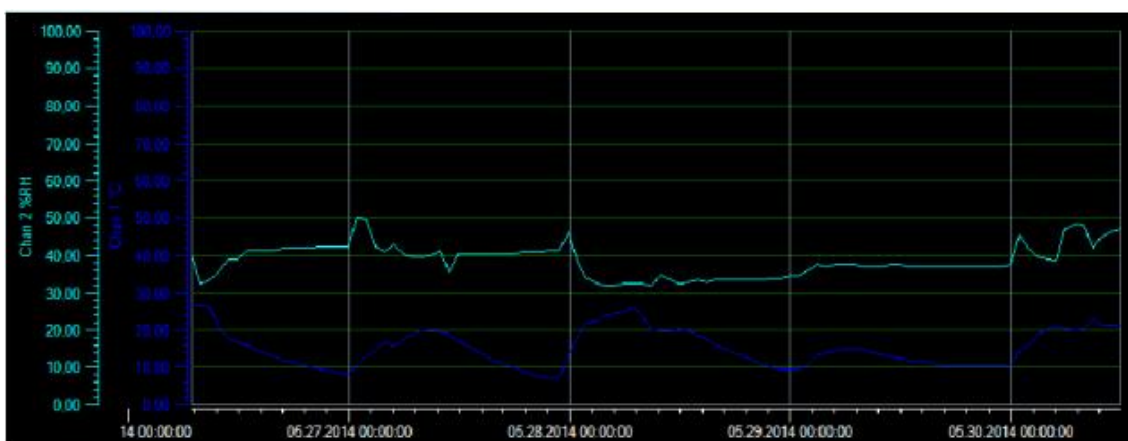
Seuraavassa kuvassa 14 on esitetty mittausarvoja kuljetuksen ajalta.



Kuva 14. Ensimmäisen pilotin lämpötila- ja kosteuskäyrät (Green ICT 2014)

Green ICT:n laatimassa ensimmäisen pilotin tapauksessa anturi oli sijoitettuna asiakkaalle toimitetussa paketissa. Kuvissa ylempi käyrä kuvaa ilman kosteutta ja alempi käyrä kuvaa lämpötilaa. Kuvan käyristä on nähtävissä ja voidaan päätellä, että koekäytön alussa paketti on todennäköisesti ollut yön jossain kulkuvälineessä, jossa lämpötila on ollut alle 10 astetta ja sitten ilman kosteus on mahdollisesti noussut. Tutkimuksessa päädyttiin siihen, että kuljetettava paketti on ollut hyvin vakio-olosuhteissa. Lämpötila on vaihdellut 15 - 25 asteen välillä ja se on myös lämpötilakäyrästä nähtävissä. (Green ICT 2014)

Alla olevassa kuvassa 15 on esitetty toisen mittauspilotin lämpötila- ja kosteusarvoja.



Kuva 15. Toisen pilotin lämpötila- ja kosteuskäyrät (Green ICT 2014)

Kuvasta on nähtävissä, että tutkimuksen aikana ilmankosteus pysyy suhteellisen vakiona, mutta vuorokauden ajan vaihtelut näkyvät selvästi lämpötilan käyrästä. Tämä viittaa mahdollisesti siihen, että mittaus on tapahtunut mahdollisesti kuljetusneuvossa eikä ole ollut sisävarastoinnissa vaikkapa yö-aikaan. (Green ICT 2014)

Green ICT:n tutkimuksen mukaan mittausanturit antoivat selkeän kuvan lämpötila- ja kosteusolosuhteista mittausjaksolla sekä toisessa pilotissa oli hyvin ja selkeästi havaittavissa vuorokauden ajanvaihtelut, joka monissa tällaisissa logistiikan tapauksissa pidetään normaalina. (Green ICT 2014)

Tutkimuksessa todettiin, tuotteita voidaan varastoida ulko-olosuhteissa sekä myös kulukuvälineissä, joissa tuotteita kuljetetaan pitkiäkin matkoja. Pilottien mittausjaksoilta saatiin kerättyä tarvittavat tiedot asiakkaille sekä testattua anturien toimintaa. Voidaan siis todeta, että anturit keräsivät mittausarvot talteen onnistuneesti. (Green ICT 2014)

5.6 Parannuskohteita ja hyötyseikkoja

Green ICT:n tutkimuksen mittauspilottien koekäytössä huomattiin seuraavanlaisia riskitekijöitä ja asioita, joihin olisi panostettava jatkossa:

- tietojen käsittely ja siirto
- sensoreista, ohjelmointi- ja tiedonsiirtorajapinnat
- mobiililaitteiden toiminta
- avoimet rajapinnat puuttuivat mobiililaitteista
- mobiilisovelluksien toiminta
- monimutkainen tiedon keräys ja tehottomuus
- tiedon tallennuksen ja tulostuksen erovaisuudet
- suljetun sensorijärjestelmän soveltumattomuus

Green ICT:n tutkimuksessa mittauspilottien koekäytössä huomattiin, erityisesti tietojen käsittelyssä ja siirrosta oli parannettavaa. Julkisen raportin mukaan toimittajien antamat kuvaukset sensoreista, ohjelmointi- ja tiedonsiirtorajapinnoista eivät olleet odotusta vastaavia. Parannettavaa on mobiililaitteiden myös toiminnassa. Pilotin koekäytön aikana mobiililaitteille ei ollut avoimia rajapintoja, vain ainoastaan mobiilisovellukset, joiden toiminta ei vastannut valmistajien lupauksia. (Green ICT 2014)

Green ICT:n raportin mukaan mobiilisovelluksien toiminnassa on selvästi parannettava jatkossa, koska tietojen keräys oli monimutkaista. Mobiilisovelluksien toiminnassa oli eroavaisuuksia tiedon tallennuksessa. Mobiililaitteelta tulisi pystyä siirtämään tiedot

ongelmitta suoraan vaikkapa pilvipalveluun muokkausta ja jatkokäsittelyä varten. Testattujen sensoritoimittajien laitteilla ei ollut mahdollisuutta tällaiseen. (Green ICT 2014)

Tutkimuksen mukaan ongelmia ilmeni tulostuksissa ja tallennuksissa. Tietojen muokkauksen osalta tiedonkäsittelyt onnistuivat vain toisen valmistajan pilvipalvelulla. Mahdollisesti haittaa aiheutti, se että käyttöliittymissä oli eri kielivaihtoehtoja. Toisesta mobiilisovelluksesta saatiin PDF-dokumentti sähköpostiin määrämuotoisena. Toisesta oli mahdollisuus tallentaa ja saada tietyn formaatin mukainen tiedosto mobiililaitteen muistiin. Tiedosto piti siirtää PC:lle erillisen ohjelmiston käsittelyyn, jotta data voitiin saada luettavan muotoiseen formaattiin. (Green ICT 2014)

Tutkimuksessa mobiiliohjelmistot olivat hieman monimutkaisia, joten niiden käytön helpottamiseksi on parannettavaa jatkossa, koska järjestelmän toiminta on tehotonta tiedon siirron osalta pilvipalveluun. Varsinainen tietojen keruu on vielä hieman vaikeaa, mutta tarpeelliset tiedot itse mittaushetkellä onnistuttiin pilotoinnin aikana saada. Sensoreiden sijoittelu ja olosuhdemittauksen käynnistämisen sijaan oli helppoa, eikä se vaatinut erityistä osaamista. (Green ICT 2014)

Green ICT:n tutkimuksessa ilmeni myös seuraavanlaisia hyötynäkökohtia ja arvioituja positiivisia asioita:

- tiedon saanti kuljetustapahtumien mittauskohteista
- sensoreiden helppo ja vaivaton sijoittelu
- olosuhdemittauksien käynnistys
- mittausantureiden käyttökelpoisuus
- johdottomuus, langattomuus
- soveltuu avoimiin sensorijärjestelmiin
- langattoman sensoriverkon edullisuus
- selkeä kuva lämpötilojen, kosteuksien ja vuorokausien vaihteluista
- liikkuvilla sensoreilla kerätty kattava mittausaineisto

Tutkimuksen mukaan tulevaisuudessa koekäyttöjä tullaan jatkamaan ja tavoitteena on kehittää olosuhteiden mittausta ja niiden tulostamista esitystavan osalta edelleen. Avoimempia ja paremmin tällaiseen käyttötarkoitukseen soveltuvia sensoreita on löydettävä. Erilaisten toiminnallisuuksien rakentaminen pilvipalveluun on vaatimuksena sensoritiedon keräystä ja jatkokäsittelyä varten. Lähtökohtana on kuitenkin olosuhteiden

mittaustietojen avoin ja selkeä saatavuus. Jatkokehityksen kannalta suljetut sensorijärjestelmien käyttö ei ole tässä tapauksessa järkevää ja soveltuvaa. Tällä hetkellä perinteisemmät mittausanturit ovat vielä käyttökelpoisia, mutta vähävirtaiset pienikokoiset liikuteltavat mittausanturit voivat korvata ne, koska ne eivät tarvitse johdotuksia ja ovat helposti siirrettäviä esimerkiksi edellä esitetyn kuljetustapahtuman paketteihin mukaan. (Green ICT 2014)

Tämäntyyppiset langattomat sensoriverkot liikkuvassa olosuhteen mittauksessa tuovat monia hyötyjä verrattuna varsinkin langallisiin sensorijärjestelmiin ja niiden mittausantureihin. Langaton verkko ei tuota niin suuria kustannuksia asennusvaiheessa, koska langattomien yksiköiden välille ei tarvitse vetää johtoja. Tällöin langattomilla sensoriverkoilla saadaan enemmän mittaavia yksiköitä halvemmalla, jolloin on mahdollista rakentaa laajempia kokonaisuuksia. (Green ICT 2014)

Voidaan lopuksi arvioida, että langattomat sensoriverkot liikkuvan olosuhteen mittauksessa mahdollistavat ajasta ja paikasta riippumatonta seuranta, valvontaa niin lämpötilojen, kosteuden, kuin muidenkin ympäristösuureiden tilasta. Tällainen tiivis seuranta mahdollistaa suuren skaalan kohteita, aina tässä tapauksessa pakettien kunnon tilasta, rakennuksiin ja sitäkin suurempiin ympäristöihin. Tällaisten mahdollisuuksien saattelemana liikkuva olosuhteen mittaus saavuttaa suurta hyötyä varsinkin monipuolisen ja kattavan informaation keräämisen muodossa.

6. TULEVAISUUDEN KEHITYSNÄKYMÄT

Tässä luvussa käsitellään RFID:n alan ja itse RFID teknologian kehitysnäkymiä lähitulevaisuudessa sekä myös sensoriverkkojen tulevaisuuden näkymiä. Tulevaisuudessa RFID:n ala ja sen teknologiat tulevat kehittymään moniin kehityssuuntauksiin.

6.1 Kehityssuunta laitteistoista ohjelmistoihin

RFID-laitteistot ovat nykyisin jo tehokkaita ja niin toimintavarmoja, että tulevaisuudessa voidaan keskittyä tunnistedatan hyödyntämiseen ja sen tehostamiseen. Tämän voidaan ajatella olevan se ensimmäinen kehityssuuntaus. Laitekustomointi tulee lisääntymään, samoin muotoilu, jotka liittyvät tiettyihin erityisolosuhteisiin. Tämä koskee erityisesti lukijoita ja tunnisteita. Tunnisteiden hinta tulee laskemaan, mutta ei yhtä nopeasti kuin aikaisemmin. Painopiste tulee siirtymään RFID-laitteistoista ohjelmistoihin. Alan yritykset tarjoavat ratkaisuja, eivät välttämättä yksittäisiä laitteita. Tulevaisuuden asiakasta kiinnostaa ratkaisu ongelmaan, ei niin ikään tekniset pikkuseikat. Alan yritysten välisten kumppanuuksien lisääntyminen mahdollistaa tehokkaiden tietoteknisten ratkaisujen löytämiseksi yhteistyössä laitevalmistajien, ohjelmistovalmistajien ja niiden integraattoreiden välillä. (Isomäki 2012)

6.2 Kehityssuuntana marginaaliset toimialat

Toisena kehityssuuntana voidaan ajatella useiden yritysten syntyminen vuosien kuluessa myös palvelemaan marginaalisia toimialoja tämänhetkisten suurten volyymien sijaan. Tietyt toimialat tunnetaan hyvin ja niihin liittyvät erilaisuudet. Erot löytyvät tyypillisesti liiketoiminnan ja fyysisen ympäristön välisistä suhteista. Nämä koskevat esim. erilaisia prosesseja, sääntöjä ja pykälää. Näitä seikkoja ja sääntöjä liittyy mm. terveydenhuoltoon ja ydinvoimaloihin. Ohjelmistotalot, jotka ovat tekemisissä ERP- ja WMS- järjestelmien parissa, tulevat entistä enemmän tietoisimmiksi RFID:n mahdollisuuksista. Tämän tyyppinen kehityssuunta tarkoittaa sitä, että tuotekehityksessä huomioidaan yhä vahvemmin RFID. (Isomäki 2012)

6.3 Kehityssuuntana pilvisovellukset

Kolmantena kehityssuuntana voidaan pitää alalla pilvisovelluksia, jotka tulevat lisääntymään. Alkaa syntyä seurantasovelluksia, jotka ovat ns. ”yksinkertaisia”. Ne toimivat vaikkapa rekisteröitymis- ja kuukausimaksuperiaatteella.

RFID-laitteisto voi lähettää tunnistehavainnot suoraan kyseisille sovelluksille. RFID tulee lisääntymään myös kauppojen lattioilla. RFID-tunnistuksen käyttö lisääntyy vaatteissa, erityisesti tällä hetkellä USA:ssa, ja myös muita tuoteryhmiä tulee ennen pitkää perässä. Tämä korvaa toimintoja, joissa käytetään viivakoodia. Tulevaisuudessa RFID:n käyttö myös varkaudenestossa lisääntyy. RFID:tä aletaan hyödyntää myös eri kuluttajatuotteissa. Esimerkkinä on laitteen personoitu käyttäminen käyttäjän mukaan. Sellainen laite on jo julkaistu: RFID-lukijalla varustettuna keitin. Laitteella voidaan keittää riisit käyttäjän omien mieltymysten mukaisesti. Laitteita on myös julkaissut Intel, joissa laitteen prosessori on yhteydessä RFID-tunnisteeseen. Tällainen yhteys liittyy mm. laitteen aktivointiin ja kustomointiin. (Isomäki 2012)

6.4 Kehityssuuntana anturisovellukset

Neljäntenä kehityssuuntana voidaan pitää anturisovelluksia. RFID:n käyttö on lisääntynyt voimakkaasti viime vuosina. Vuosina 2011 - 2015 on ennustettu kasvua 28.4 %. Tämä tarkoittaa sitä, että anturisovellukset lisääntyvät tulevaisuudessa. Esimerkkinä voidaan mainita lämpötilanseuranta kylmäketjuissa. Paristotuettuja tunnisteita on kehitetty tyypillisesti, mutta myös täysin passiivisia anturi-tunnisteita on kehitetty aiemmin. Nämä passiiviset anturi-tunnisteet voivat oletettavasti lisääntyä. Tulevaisuudessa varsinkin NFC-puhelimien käyttö lisääntyy. On ennustettu, että vuonna 2016 myytäisiin 700 miljoonaa kappaletta NFC:llä varustettua puhelinta. Kasvuennuste on melkoisen valtava, peräti 87.8 %. Aika sitten näyttää, kuinka paljon ennusteluvut pitävät toteutuneiden arvojen kanssa paikkaansa. (Isomäki 2012)

6.5 Huomioitavaa RFID:n teknologian kehityskulusta

Viime vuosina on tullut markkinoille useita tunnistemalleja, jotka voidaan asettaa metallipinnassa olevaan syvennykseen. Vuonna 2012 on julkaistu myös ”antenniton” tunniste metallipinnoille. Tämä hyödyntää metallipintaa, johon tunniste on kiinnitetty. Tämä on uudenlainen tunnistetyyppi, jonka toimintaperiaate poikkeaa tavallisista RFID-tunnisteista. (Isomäki 2012)

Tulevaisuudessa on mahdollista entistä ohuempien metallitunnisteiden valmistaminen. Varsinainen sarjatuotanto uudenaikaisessa tunnistetypissä on vasta käynnistymässä. Tulostettu RFID tulee myös lisääntymään tulevaisuudessa. Nykyisin on realismia RFID-tunnisteen antennin tulostaminen ja painaminen. Kokonaan siruttoman RFID-tunnisteen kehittämiseksi on tehty voimakasta kehitystyötä mm. Philips-yhtiön toimesta. (Isomäki 2012)

Tulevaisuudessa tunniste voitaisiin käytännössä tulostaa tuotepakkaukseen, aivan kuten viivakoodi nykyään. On ennustettu, että siruttomalla RFID:llä olisi noin 4 miljardin dollarin markkinat vuoteen 2016 mennessä. Voidaan myös havaita, että nykypäivän siruton RFID poikkeaa teknisesti paljon ns. ”tavanomaisesta” RFID:stä. Muistia on maksimissaan muutama kymmenen bittiä, joten tunnistet ns. ”read only”, eivät ole yhteensopivia yleisten HF- ja UHF-standardien kanssa, mutta muistuttavat teknisesti enemmänkin RF-pohjaisia EAS-järjestelmiä. Tästä voidaan esimerkkinä mainita resonanssiperiaate, jossa jokainen yksittäinen bitti resonoi jollain taajuudella. (Isomäki 2012)

6.6 Sensorijärjestelmien kehitysnäkymistä

RFID-pohjaisten langattomien sensoriverkkojen ja myös muiden langattomien käytön odotetaan kasvavan tulevaisuudessa selvästi niiden edullisuuden ja sovelluskohteitten suuren määrän ansiosta. Monia sovellusalueita löytyy esimerkiksi kotitalouksien, teollisuuden ja kaupan aloilta, niin kuin myös lääketieteen, sotatieteen ja ympäristötieteiden aloilta. Sovelluksien avulla pystytään tarkkailemaan ja valvomaan kohteita, joissa kulkeminen on vaarallista tai mahdotonta, sekä esimerkiksi antamaan täsmällistä, reaaliaikaista tietoa tietyn alueen olosuhteista, esimerkiksi maataloudessa, teollisuudessa ja kiinteistöissä. Uusissa autoissa käytetään paljon erilaisia sensoreita lisäämään ajomukavuutta ja tarjoamaan kulkuneuvon hallintaan parempia lisäominaisuuksia. Potentiaalisia sensoriverkkoteknologian kehityskohteita ovat kodin elektroniikka, kiinteistöautomaatio ja turvallisuus sekä lelut ja pelit. (Barrett 2003)

Sensoreiden kehitys ja niiden tuoma mahdollisuus monipuoliseen aistimiseen on kasvanut suuresti viime vuosina. Edulliset, pienikokoiset ja teknisesti laadukkaat sensoriratkaisut ovat mahdollistaneet langattomien sensoriverkkojen hyväksikäytön myös kotona ja ihmisten jokapäiväisessä elämässä. Ympäristöolosuhteiden mittaus tulee lisääntymään monilla aloilla, kuten terveydenhuollon ja logistiikan alalla. Liikkuvien sensoreitten käyttö lisääntyy ja uusia käyttökohteita on mahdollisesti lisää tulevaisuudessa. Sellaisia kehityskohteita ovat esimerkiksi älypuhelimet, älykodit ja älyvaatteet.

Tällä hetkellä maailmanlaajuisesti Yhdysvallat hallitsee langattomien sensoriverkkojen kehitystä ja käyttöä. Suurin syy tähän on huomattavasti suurempi rahoitus kyseistä tek-

nologiaa kohtaan, kuin muissa maissa. Yhdysvaltain tietotekniikkateollisuus on maailman kärkipäästä. Suurista yrityksistä voidaan mainita Microsoft ja IBM. Nämä suuret yritykset, ja koko teollisuus maassa, näkevät langattomat sensoriverkot seuraavana isona kehitysportaana tietotekniikassa ja ovat täten valmiita myös panostamaan siihen.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän diplomityön tarkoituksena oli tutkia RFID- ja sensoritekniikkaa sekä olosuhteiden mittausta. Aluksi käytiin läpi RFID:n historiaa ja sen kehityskulkua ja tulevaisuuden mahdollisuuksia. Toisena tavoitteena oli tutustua sensoreihin, sensoriverkkoihin ja niiden käyttökohteisiin ja myös tulevaisuuden näkymiin. Kolmantena tavoitteena oli tutustua RFID-pohjaiseen olosuhdemittauspilottiin.

RFID-teknologia on lähtöisin jo toisen maailmansodan ajalta ja käytetty yleisesti sotilaskäytössä, mutta vasta viime vuosikymmeninä siitä on tullut osa jokapäiväistä elämää monenlaisissa käyttökohteissa. Nykyisin RFID- teknologiaa on alettu soveltaa myös langattomiin sensoriverkkoihin.

Aluksi käytiin RFID:n historiaa ja sen kehityskulkua vuosikymmenittäin. Toiseksi suoritettiin radiotaajuisen etätunnistuksen ja perinteisen viivakoodin vertailua toisiinsa. RFID-järjestelmästä käytiin läpi eri tärkeät komponentit ja niiden toiminta sekä tunnistustekniikan fysikaaliset seikat ja vertailtiin myös RFID-tunnisteita toisiinsa. Työssä käytiin läpi teknologiaan liittyviä asioita, joita ovat muun muassa lukijat, taajuusalueet, standardit ja lyhyesti RFID:n pohjautuvaa NFC-teknologiaa.

Työn edetessä perehdyttiin sensoreihin ja sensoriverkkoihin. Tarkastelun kohteena oli monia käytössä olevia sensoriverkkostandardeja. Pääosin tarkasteltiin langattomia verkkotekniikoita ja monia tiedonsiirtomenetelmiä, joita on käytössä eri sovellus ja käyttökohteissa, kuten kiinteistöautomaatiossa, teollisuudessa, kaupoissa sekä logistiikassa.

Lopussa perehdyttiin liikkuvan olosuhteiden mittaukseen toteutetun RFID -pohjaisen mittauspilotin julkisen raportin avulla. Olosuhdemittaus oli osana työtä, siinä käytiin läpi koekäytössä erilaisia olosuhdetietojen keräykseen anturi- ja mobiiliohjelmistoja käyttävä pilvipalvelu ja mitä kuljetustapahtuman aikana tapahtuu lämpötila- ja kosteusolosuhteille. Koekäyttöjen tarkoituksena oli osoittaa liikkuvan olosuhdemittauksen etuja keräämällä asiakaskohtaisia kokemuksia lämpötila- ja kosteusantureiden avulla, jotka liittyivät eri asioiden olosuhdeseikkojen mittaukseen, lämpötilan valvontaan, sisäilman laadunvalvontaan ja pakkauksen kunnonseurantaan.

RFID- ja sensoritekniikan vakiintuminen ovat mahdollistaneet sen, että yhä erilaisissa sovelluksissa ja käyttökohteissa voidaan hyödyntää RFID:tä ja sensoriverkkoja. Tekniikoiden mahdollistama sovelluskohtainen nopeus ja käytön vaivattomuus ovat vaikuttaneet siihen, että tekniikkana RFID ja sensoriverkot ovat tulleet jäädäkseen.

LÄHTEET

Barrett R. Jr, Callaway E. Jr. ja Gutiérrez J., 2003, “Low-Rate Wireless Personal Area Networks, Enabling Wireless Sensors with IEEE 802.15.4”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York.

Bluetooth, 2014, (<http://www.bluetooth.com>),
(viitattu 20.11.2014)

Callaway E. H. Jr., 2004, Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols, Boca Raton: Auerbach Publications, (<http://www.worldcat.org/title/wireless-sensor-networks-architectures-and-protocols/oclc/51993636/viewport>),
(viitattu 10.3.2015)

Cormode D., 2006, Ethical Problems of Implementing widespread RFID devices in consumer products, Pittsburg State University.

EPC Gen 2, 2014, (<http://www.gs1.org/gsm/kc/epcglobal/uhfc1g2>),
(http://www.gs1.org/sites/default/files/docs/uhfc1g2/uhfc1g2_2_0_0_standard_20131101.pdf),
(viitattu 11.12.2014)

Farahani S., 2008, Zigbee wireless networks and transceivers, Oxford: Elsevier Ltd.

Finkenzeller K., 2010, RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, Third Edition, John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom
(http://aries.ektf.hu/~dream/e107/e107_files/downloads/rfidhand.pdf),
(viitattu 25.1.2015)

Gislason D., 2008, Zigbee Wireless Networking. United States, Newnes, s. 448.

Glover B., Bhatt H., 2006, RFID Essentials, O'Reilly Media, Inc, USA.

Green ICT Satakunnassa, 2014, Liikkuva olosuhdemittausraportti, Tampereen teknillinen yliopisto, (<http://www.tut.fi/idcprod/groups/public/@l914/@web/@p/documents/liit/p076601.pdf>),
(viitattu 11.11.2014)

Hunt V. D., Puglia A., Puglia M., 2007, RFID: A Guide to Radio Frequency Identification, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, USA.
(<http://www.rtdep.edu.ng/forms/RFID.A.Guide.to.Radio.Frequency.Identification.Apr.2007.pdf>),
(viitattu 3.9.2014)

Hännikäinen M., 2010, Hyöty sensoriverkoista, Tampereen teknillinen yliopisto.
(http://www.tkt.cs.tut.fi/research/daci/pub_open/TTY_HYOTY_SENSORIVERKOIST_A_Tekes_seminaari_21.6.2010_final.pdf),
(viitattu 25.9.2014)

Idesco, 2014, (<http://www.idesco.fi/fi/teknologia/rfid-teknologia>),
(viitattu 1.11.2014)

Isomäki S., 2012, RFID-tulevaisuuden suuntaviivat.pdf,
(http://www.puuteknologiapalvelut.fi/RFID/seminaari_11042012/RFIDn%20tulevaisuuden%20suuntaviivat.pdf),
(viitattu 10.11.2014)

Koskinen L., 2007, RFID-tekniikka ja sen sovellukset, opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu, s. 5-6.

Kukkurainen J-M., 2009, Kilavi-sensoriverkon isäntälaitteen toteutus, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, s. 16.

Kuorilehto M., Kohvakka M., Suhonen J., Hämäläinen, P., Hännikäinen, M. and Hämäläinen, T. D., 2007, Front Matter, in Ultra-Low Energy Wireless Sensor Networks in Practice: Theory, Realization and Deployment, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.

Landt J., 2001, Shrouds of time — The history of RFID, AIM Inc., Pittsburgh, PA,
(https://www.transcore.com/sites/default/files/History_of_RFID_White_Paper.pdf),
(viitattu 5.9.2014)

Landt J., 2005, The History of RFID, IEEE Potentials-tiedelehti, s. 8-11.
(http://www.sepaco-tech.com/modules/Manager/Articles/the_history_of_rfid.pdf),
(viitattu 5.9.2014)

NFC, 2014, (<http://nfc-tunniste.weebly.com/nfc-tekniikkaa.html>),
(viitattu 15.11.2014)

Norair, J.P., 2009, Introduction to DASH7 Technologies,
(<https://dash7.memberclicks.net/assets/PDF/dash7%20wp%20ed1.pdf>),
(viitattu 28.1.2015)

Microsoft, 2014, (<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa479355.aspx>),
(viitattu 4.12.2014)

Mittausverkko, 2014, Langattomat anturiverkot, Tampereen teknillinen yliopisto,
(<http://www.tkt.cs.tut.fi/research/daci/mittausverkko/teknologia.html>),
(viitattu 25.1.2015)

OmniID, 2009, The Technology of On-Metal RFID_(http://www.omni-id.com/pdfs/RFID_Tag_On-Metal_Technology_WhitePaper.pdf),
(viitattu 27.10.2014)

Phola S., La Porta, Thomas F., Griffin Christopher, 2006, Sensor Network Operations, United States, John Wiley & Sons, s. 724.

Proessori 11, 2009, Langaton anturiverkko tositoimiin, s. 50-51,
(https://www.tekes.fi/globalassets/global/ohjelmat-ja-palvelut/ohjelmat/ubicom/aineis-tot/artikkelit-uutisissa/proessori/langaton-anturiverkko-tositomiin-11_2009.pdf),
(viitattu 25.1.2015)

Raghavendra C. S. & Sivalingam K. M. & Znati T. F., 2004, Wireless sensor networks, New York: Springer Science+Business Media, Inc.

RFIDLab, 2014, RFIDLab Finland ry, RFID-historia,
(<http://www.rfidlab.fi/rfid-tekniikan-historia>),
(viitattu 16.9.2014)

RFIDLabb, 2014, RFIDLab Finland ry, RFID-standardit,
(<http://www.rfidlab.fi/rfid-standardit>),
(viitattu 27.9.2014)

RFIDLabc, 2014, RFIDLab Finland ry, RFID-tekniikan käyttämät taajuusalueet,
(<http://www.rfidlab.fi/rfid-tekniikan-k%C3%A4ytt%C3%A4m%C3%A4taajuusalueet>),
(viitattu 28.9.2014)

RFIDLabd, 2015, RFIDLab Finland ry, RFID-tekniikan perusteet,
(<http://www.rfidlab.fi/rfid-tekniikan-perusteet>),
(viitattu 9.1.2015)

Rftrend, 2014, (http://www.rftrend.com/rfid_en.html),
(viitattu 20.9.2014)

Rintala-Runsala E., Tallgren M., 2004, Tutkimusraportti, VTT,
(<http://www.rfidlab.fi/index.php?q=system/files/sites/rfidlab.fi/files/RFID-tekniikan%20hy%C3%B6dynt%C3%A4minen%20asiakkuudenhallinnassa.pdf>),
(viitattu 9.1.2015)

Römer M., 2004, The Design Space of Wireless Sensor Networks. IEEE Wireless Communications, vol 11, no. 6, (<http://www.vs.inf.ethz.ch/publ/papers/wsn-designspace.pdf>),
(viitattu 20.2.2015)

Seppä H., 2011, RFID etätunnistus mahdollisuudet ja uhat, Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta, (<http://web.eduskunta.fi/dman/Document.phx?documentId=xh18211145145785&cmd=download>),
(viitattu 3.10.2014)

Sgroi M., Wolisz A., Sangiovanni-Vincentelli A., Rabaye J. M., 2003, A Service-Based Universal Application Interface for Ad-hoc Wireless Sensor Networks. University of California Berkley, Technical University of Berlin, s. 37.

Sohraby K., Minoli D., Znati T., 2007, Wireless Sensor Networks, (image.sciencenet.cn/olddata/kexue.com.cn/bbs/upload/12615WSN-2007.pdf),
(viitattu 1.11.2014)

Soini M., 2009, Asumisen anturiratkaisut, Tampereen teknillinen yliopisto Rauman yksikkö, (http://www.prizz.fi/sites/default/files/asiakaskuvat/Siirretyt_Prizztech/JPT/Pori_26-05-09_Soini.pdf),
(viitattu 15.9.2014)

ST-käsikirja 17, 2001, Rakennusautomaatiojärjestelmät, Tampere, Tammer-Paino Oy.

ST-käsikirja 21, 2006, Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät, Tampere, Tammer-Paino Oy.

Stojmenovic I., 2005, Handbook of Sensor Networks: Algorithms and Architectures, 1st edition. United States, John Wiley & Sons, s. 552.

Tielinen J., 2011, RFID - Teknologia, historia ja sovellukset, opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu, s. 11-12.

Technosoft, 2014, (<http://www.tecnosoft.eu/>),
(viitattu 10.12.2014)

Track-It, 2014, (<http://www.monarchinstrument.com/track-it.php>),
(viitattu 10.12.2014)

TUTWSN-mittausverkko, 2009, Mittausverkon käyttö opetuksessa TTY:llä, (<http://www.tkt.cs.tut.fi/research/daci/mittausverkko/Mittausverkko-Opetus.pdf>),
(viitattu 23.1.2015)

Viitanen L., 2005, RFID-teknologian soveltaminen logistiikassa, seminaarityö, TTY, (<http://www.rfidlab.fi/index.php?q=system/files/sites/rfidlab.fi/files/RFID-teknologian%20soveltaminen%20logistiikassa.pdf>),
(viitattu 9.1.2015)

Violino B., 2005, RFID System Components and Costs,
(<http://www.rfidjournal.com/articles/view?1336/>),
(viitattu 16.10.2013)

Wi-Fi Alliance, 2014, Discover and learn, Wi-Fi Alliance, (http://www.wi-fi.org/discover_and_learn.php),
(viitattu 24.11.2014)

Zhao F. & Guibas L. J., 2004, Wireless sensor networks: an information processing approach, San Francisco: Elsevier Inc.,
(http://read.pudn.com/downloads150/ebook/650368/Wireless_Sensor_Networks_An_Information_Processing_Approach.pdf),
(viitattu 2.2.2015)

Zigbee Alliance, 2009, Zigbee RF4CE Specification Version 1.00, Www-dokumentti,
(<http://www.zigbee.org/ZigBeeRF4CESpecification/tabid/464/Default.aspx>),
(viitattu 30.10.2014)

Z-Wave, 2014, Wikipedia, the free encyclopedia, (en.wikipedia.org/wiki/Z-Wave),
(viitattu 29.10.2014)